

**Untersuchungen zur praecaecalen Aminosäurenverdaulichkeit  
von Weizen beim Broiler unter Berücksichtigung  
methodischer Aspekte**

**Dissertation  
zur Erlangung des  
Doktorgrades der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)**

der

Naturwissenschaftlichen Fakultät III  
Agrar- und Ernährungswissenschaften,  
Geowissenschaften und Informatik  
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Frau Theresa Bormann

geb. am 30.09.1981 in Leipzig

Gutachter: PD Dr. Holger Kluth

Prof. Dr. Markus Rodehutscord

Verteidigt am: 27.05.2019

**Inhaltsverzeichnis**

Abkürzungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis .....	VI
Abbildungsverzeichnis .....	VIII
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Literaturübersicht .....</b>	<b>2</b>
2.1. Grundlagen des Verdauungssystems und der Proteinverdauung des Geflügels .....	2
2.2. Protein und Aminosäurebedarf .....	5
2.3. Bestimmung der Verdaulichkeit .....	5
2.4. Einflüsse auf die praecaecale Verdaulichkeit .....	7
2.4.1. Einfluss der Tierart .....	7
2.4.2. Einfluss des Alters .....	7
2.4.3. Einfluss des Beprobungsabschnitts .....	8
2.4.4. Einfluss der Futterstruktur .....	8
2.4.5. Einfluss antinutritiver Substanzen .....	9
2.4.5.1. Nicht-Stärke-Polysaccharide .....	10
2.4.6. Einfluss von Enzymen .....	11
2.5. Weizen .....	13
2.5.1. Weizen als Futtermittel .....	14
<b>3. Material und Methoden .....</b>	<b>15</b>
3.1. Allgemeiner Teil .....	15
3.1.1. Tiere und Haltung .....	15
3.1.2. Probennahme und -aufbereitung .....	16
3.2. Versuchsbeschreibung .....	18
3.2.1. Versuch 1 – 4: Zum Einfluss der Sorte und eines Enzymzusatzes auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren und der Stärke aus Weizen.....	18
3.2.1.1. Rationsgestaltung .....	18
3.2.1.2. Tiere, Haltung und Probennahme .....	20
3.2.2. Versuch 5: Zum Einfluss von Alter, Dünndarmabschnitt und Enzymzusatz auf die praecaecale Verdaulichkeit von Aminosäuren weizenbetonter Rationen...	20
3.2.2.1. Rationsgestaltung .....	20
3.2.2.2. Tiere, Haltung und Probennahme .....	20
3.2.3. Versuch 6: Zum Einfluss des Aufstallungsortes auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Weizen.....	21
3.2.3.1. Rationsgestaltung .....	21
3.2.3.2. Tiere, Haltung und Probennahme .....	22
3.2.4. Versuch 7: Zum Einfluss der Dauer einer Enzymfütterung auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Weizen.....	22
3.2.4.1. Rationsgestaltung .....	22
3.2.4.2. Tiere, Haltung und Probennahme .....	23

## Inhaltsverzeichnis

3.2.5. Versuch 8: Einfluss der Struktur des Weizens (geschrotet vs. ganz) auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren .....	24
3.2.5.1. Rationsgestaltung .....	24
3.2.5.2. Tiere, Haltung und Probennahme .....	24
3.3. Analysen .....	24
3.3.1. Rohprotein.....	25
3.3.2. Rohfett .....	25
3.3.3. Rohfaser .....	25
3.3.4. Titandioxid.....	25
3.3.5. Aminosäuren .....	25
3.3.6. Stärke .....	26
3.3.7. Enzymaktivität .....	26
3.3.8. Nasse Siebanalyse.....	27
3.4. Statistische Auswertung .....	27
3.4.1. Berechnung .....	27
<b>4. Ergebnisse .....</b>	<b>29</b>
4.1. Versuch 1 – 4: Zum Einfluss der Sorte und eines Enzymzusatzes auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren und der Stärke aus Weizen.....	29
4.1.1. Leistungsdaten .....	29
4.1.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren .....	31
4.1.3. Verdaulichkeit der Stärke .....	36
4.2. Versuch 5: Zum Einfluss von Alter, Dünndarmabschnitt und Enzymzusatz auf die praecaecale Verdaulichkeit von Aminosäuren weizenbetonter Rationen .....	37
4.2.1. Leistungsdaten .....	37
4.2.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren .....	37
4.3. Versuch 6: Zum Einfluss des Aufstallungsortes auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Weizen .....	42
4.3.1. Leistungsdaten .....	42
4.3.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren .....	42
4.4. Versuch 7: Zum Einfluss der Dauer einer Enzymfütterung auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Weizen mit und ohne Enzymzusatz .....	43
4.4.1. Leistungsdaten .....	43
4.4.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren .....	44
4.5. Versuch 8: Einfluss der Struktur des Weizens (geschrotet vs. ganz) auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren .....	46
4.5.1. Partikelgrößenverteilung.....	46
4.5.2. Leistungsdaten .....	47
4.5.3. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren .....	47
<b>5. Diskussion.....</b>	<b>49</b>
5.1. Versuch 1 – 4: Zum Einfluss der Sorte und eines Enzymzusatzes auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren und der Stärke aus Weizen.....	49
5.1.1. Leistungsdaten .....	49

## Inhaltsverzeichnis

5.1.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren .....	51
5.1.2.1. Einfluss der Sorte .....	51
5.1.2.2. Einfluss des Enzyms .....	55
5.2. Versuch 5: Zum Einfluss von Alter, Dünndarmabschnitt und Enzymzusatz auf die praecaecale Verdaulichkeit von Aminosäuren weizenbetonter Rationen .....	57
5.2.1. Leistungsdaten .....	57
5.2.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren .....	57
5.2.2.1. Einfluss des Darmabschnittes .....	57
5.2.2.2. Einfluss des Alters.....	58
5.2.2.3. Einfluss des Enzyms .....	59
5.3. Versuch 6: Zum Einfluss des Aufstallungsortes auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Weizen .....	60
5.3.1. Leistungsdaten .....	60
5.3.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren .....	60
5.4. Versuch 7: Zum Einfluss der Dauer einer Enzymfütterung auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Weizen mit und ohne Enzymzusatz.....	61
5.4.1. Leistungsdaten .....	61
5.4.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren .....	61
5.5. Versuch 8: Einfluss der Struktur des Weizens (geschrotet vs. ganz) auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren .....	63
5.5.1. Leistungsdaten .....	63
5.5.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren .....	64
<b>6. Schlussfolgerung .....</b>	<b>66</b>
<b>7. Zusammenfassung .....</b>	<b>68</b>
<b>8. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>71</b>
Anhang .....	81
Selbständigkeitserklärung.....	109
Lebenslauf.....	110

## Abkürzungsverzeichnis

### Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung		
ADF	acid detergent fiber	SD	standard deviation
ADL	acid detergent lignin	SE	standard error
Arg	Arginin	t	Tonne
bzw.	beziehungsweise	Tab.	Tabelle
cm	Zentimeter	Thr	Threonin
CO <sup>2</sup>	Kohlenstoffdioxid	TM	Trockenmasse
Cys	Cystin	Trp	Tryptophan
d	Tag	Val	Valin
et al.	et alii, und andere	VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
Fa.	Firma		
g	Gramm		
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie	XF	Rohfaser
ha	Hektar	XL	Rohfett
HCl	Salzsäure	XP	Rohprotein
HPLC	Hochleistungsflüssigkeits- chromatographie	°C	Grad Celsius
Ile	Isoleucin	%	Prozent
Kap.	Kapitel		Die chemischen Elemente werden gemäß dem internationalen Periodensystems abgekürzt.
kg	Kilogramm		
l	Liter		
Leu	Leucin		
LM	Lebendmasse		
LT	Lebenstag		
Lys	Lysin		
Met	Methionin		
mg	Milligramm		
Mio.	Million		
ml	Milliliter		
mm	Millimeter		
m <sup>2</sup>	Quadratmeter		
n.a.	nicht analysiert		
n.b.	nicht berechnet		
NDF	neutral detergent fiber		
NFE	stickstofffreie Extraktstoffe		
nm	Nanometer		
Nr.	Nummer		
NSP	Nicht-Stärke-Polysaccharid		
pc	praecaecal		
Phe	Phenylalanin		
r <sup>2</sup>	Bestimmtheitsmaß		

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1:	Übersicht über die Versuchsparameter der durchgeführten Versuche.....	17
Tabelle 2:	Geprüfte Weizensorten der Versuche 1 - 4 mit Angaben der Rohnährstoffe und Nicht-Stärke-Polysaccharide (g/kg TM) .....	18
Tabelle 3:	Zusammensetzung der Versuchsmischung (g/kg) des 1. - 4. Versuchs .....	19
Tabelle 4:	Zusammensetzung des Versuchsmischungen (g/kg) des 6. Versuchs .....	21
Tabelle 5:	Zusammensetzung des Starterfutters (g/kg) des 7. Versuchs .....	22
Tabelle 6:	Lebendmassenentwicklung und Futteraufnahme des 1. und 2. Versuchs (Mittel, <i>s</i> ).....	29
Tabelle 7:	Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme des 3. und 4. Versuchs (Mittel, <i>s</i> ).....	30
Tabelle 8:	Pc Verdaulichkeit des Rohproteins, der essentiellen Aminosäuren und Cystin aus den Versuchen 1 – 4 in % .....	33
Tabelle 9:	Vergleich der pc Verdaulichkeit (%) des Rohproteins, der essentiellen Aminosäuren und Cystin zwischen den Sorten aus den Versuchen 1 – 4 ohne Enzymzusatz.....	35
Tabelle 10:	Pc Verdaulichkeit der Stärke (% , <i>SD</i> ) der Weizensorten aus den Versuchen 1 – 4.....	36
Tabelle 11:	Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme des 5. Versuchs (Mittel, <i>s</i> ).....	37
Tabelle 12:	Pc Verdaulichkeit des Rohproteins, der essentiellen Aminosäuren und Cystin (in % , <i>SD</i> ) in der Futtermischung in Abhängigkeit vom Darmabschnitt und Enzymzusatz bei 20 und 35 Tage alten Broilern.....	39
Tabelle 13:	Pc Verdaulichkeit des Rohproteins, der essentiellen Aminosäuren und Cystin (in % , <i>SD</i> ) in der Futtermischung in Abhängigkeit vom Darmabschnitt bei 20 und 35 Tage alten Broilern.....	41
Tabelle 14:	Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme des 6. Versuchs (Mittel, <i>s</i> ).....	42
Tabelle 15:	Pc Verdaulichkeit des Rohproteins, der essentiellen Aminosäuren und Cystin (% , <i>SE</i> , $r^2$ ) im Stall und der Batterie .....	43
Tabelle 16:	Lebendmasseentwicklung der Starterphase (1 – 14. Lebenstag) (Mittel, <i>s</i> ) .....	43
Tabelle 17:	Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme (Mittel, <i>s</i> ) während der Versuchsphase (14. – 18. Lebenstag).....	44
Tabelle 18:	Pc Verdaulichkeit des Rohproteins, der essentiellen Aminosäuren und Cystin (% , <i>SE</i> , $r^2$ ) bei unterschiedlicher Dauer der Fütterung mit Enzymzusatz .....	45
Tabelle 19:	Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme des 8. Versuchs (Mittel, <i>s</i> ).....	47
Tabelle 20:	Pc Verdaulichkeit des Rohproteins, der essentiellen Aminosäuren und Cystin in (% , <i>SE</i> , $r^2$ )Futtermischungen mit geschrotetem oder ganzem Weizen.....	48
Tabelle 21:	Pc Rohprotein- und Mittel der Aminosäureverdaulichkeit (%) von 4 Weizensorten mit den Angabe der Anteile an NSP und Arabinoxylanen (g/kg TM) .....	52

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 22: Vergleich der Ergebnisse der pc Verdaulichkeit der Aminosäuren (%) der gleichen Weizensorten (Sortennummer des GrainUp-Projektes) bei caecaectomierten Legehennen (ZUBER & RODEHUTSCORD, 2016) und den eigenen Untersuchungen am Broiler .....	54
Tabelle 23: Vergleich der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%) der Weizensorte Event aus Versuch 2 und 7 .....	63

### Tabellen im Anhang

Tabelle 24: Rohnährstoffe (g/kg TM) und essentielle Aminosäuren (%) der Versuchsmischungen aus Versuch 1 – 4 .....	81
Tabelle 25: Rohnährstoffe (g/kg TM) und essentielle Aminosäuren (%) der Versuchsmischungen aus Versuch 5 – 8 .....	82
Tabelle 26: gemessene Enzymaktivität der Versuche 1 - 4, 5 und 7 .....	83
Tabelle 27: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , <i>SE</i> , $r^2$ ) des ersten Versuchs .....	84
Tabelle 28: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , <i>SE</i> , $r^2$ ) des ersten Versuchs ohne Enzymzusatz .....	85
Tabelle 29: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , <i>SE</i> , $r^2$ ) des ersten Versuchs mit Enzymzusatz .....	86
Tabelle 30: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , <i>SE</i> , $r^2$ ) des zweiten Versuchs .....	87
Tabelle 31: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , <i>SE</i> , $r^2$ ) des zweiten Versuchs ohne Enzymzusatz .....	88
Tabelle 32: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , <i>SE</i> , $r^2$ ) des zweiten Versuchs mit Enzymzusatz .....	89
Tabelle 33: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , <i>SE</i> , $r^2$ ) des dritten Versuchs .....	90
Tabelle 34: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , <i>SE</i> , $r^2$ ) des dritten Versuchs ohne Enzymzusatz .....	91
Tabelle 35: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , <i>SE</i> , $r^2$ ) des dritten Versuchs mit Enzymzusatz .....	92
Tabelle 36: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , <i>SE</i> , $r^2$ ) des vierten Versuchs .....	93
Tabelle 37: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , <i>SE</i> , $r^2$ ) des 4. Versuchs ohne Enzymzusatz .....	94
Tabelle 38: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , <i>SE</i> , $r^2$ ) des vierten Versuchs mit Enzymzusatz .....	95
Tabelle 39: Vergleich der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%) zwischen den Sorten der Versuche 1 - 4 .....	96
Tabelle 40: Vergleich der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%) zwischen den Sorten der Versuche 1 - 4 .....	97
Tabelle 41: Vergleich der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%) zwischen den Sorten der Versuche 1 - 4 .....	98

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 42: Vergleich der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%) zwischen den Sorten der Versuche 1 - 4 .....	99
Tabelle 43: Vergleich der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%) zwischen den Sorten der Versuche 1 - 4 .....	100
Tabelle 44: Vergleich der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%) zwischen den Sorten der Versuche 1 - 4 .....	101
Tabelle 45: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (in %, <i>SD</i> ) in Abhängigkeit vom Darmabschnitt und Enzymzusatz im Futter bei 20 Tage alten Tieren.....	102
Tabelle 46: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (in %, <i>SD</i> ) in Abhängigkeit vom Darmabschnitt und Enzymzusatz im Futter bei 35 Tage alten Tieren.....	103
Tabelle 47: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%, <i>SD</i> ) in Abhängigkeit vom Darmabschnitt und Alter der Tiere.....	104
Tabelle 48: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%, <i>SE</i> , $r^2$ ) im Stall und der Batterie.....	105
Tabelle 49: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%, <i>SE</i> , $r^2$ ) bei Vorfütterung mit und ohne Enzym.....	106
Tabelle 50: Partikelgrößenverteilung (%) der Versuchsmischungen des achten Versuchs.....	107
Tabelle 51: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%, <i>SE</i> , $r^2$ ) bei Fütterung mit geschrotetem und ganzem Weizen .....	108

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau des Verdauungstraktes beim Geflügel Quelle: KÖNIG et al. 2009 .....	2
Abbildung 2: Versuchsgestaltung zum Einfluss der Dauer einer Enzymfütterung auf die pc Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Weizen.....	23
Abbildung 3: Beziehung zwischen aufgenommener und pc verdauter Rohproteinmenge (g/d) der Weizensorten Brilliant und Hermann sowie Frument und Pamier. ...	34
Abbildung 4: Partikelgrößenverteilung der Versuchsmischungen mit 30, 50 und 70 % Weizen, jeweils mit geschrotetem oder ganzem Weizen.....	46

## 1. Einleitung

Im Fokus der Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere steht stets die optimale Versorgung mit Nährstoffen zur maximalen Ausnutzung der Leistungspotentiale. Nicht unbeachtet bleibt dabei aber die Tiergesundheit und die Qualität der Produkte. Ebenso wichtig für den Landwirt ist der ökonomische Aspekt, dem durch bedarfsangepasste Fütterung und Optimierung der Ration Rechnung getragen wird. Es fehlen jedoch zuverlässige Informationen über den Aminosäuregehalt und die Verdaulichkeit von häufig verwendeten Futtermitteln (APPLEGATE et al., 2008; GARCIA et al., 2007), und es mangelt an Konsistenz bei den, zur Bestimmung der Verdaulichkeiten von Aminosäuren angewandten Methoden.

Die vorliegende Arbeit stellt verschiedene Einflussfaktoren zur praecaecalen (pc) Aminosäureverdaulichkeit beim Broiler aus Weizen zur Diskussion. Neben unterschiedlichen Weizensorten, wurde der Einfluss eines Enzymzusatzes und die Länge der Fütterung damit, des Alters, des Aufstallungsortes, der Futterstruktur und des beprobten Dünndarmabschnittes untersucht.

Folgende Fragestellungen ergaben sich:

- Unterscheiden sich die 12 geprüften Weizensorten hinsichtlich der pc Aminosäure-, Rohprotein- und Stärkeverdaulichkeit?
- Hat der Zusatz eines Xylanaseproduktes Einfluss auf die Verdaulichkeit?
- Hängt die Wirksamkeit des Enzymzusatzes von der Länge seines Einsatzes im Futtermittel ab?
- Gibt es einen Einfluss des Alters auf die Verdaulichkeit?
- Hat der Ort der Aufstallung einen Effekt auf die Verdaulichkeit?
- Beeinflusst die Futterstruktur die Aminosäure- und Rohproteinverdaulichkeit?
- Welcher Dünndarmabschnitt sollte zur Bestimmung der pc Verdaulichkeit genutzt werden?

Die Untersuchungen erfolgten als Teilprojekt II des Verbundprojektes „Innovationsforschung zum Futterwert von Getreide und seiner Verbesserung – GrainUp“, welches aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages gefördert wurde. Die Projektträgerschaft erfolgte über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsforschung.

## 2. Literaturübersicht

### 2.1. Grundlagen des Verdauungssystems und der Proteinverdauung des Geflügels

Eine bedarfs- und artgerechte Versorgung von Geflügel mit Nährstoffen bedingt grundlegende Kenntnisse der anatomischen und physiologischen Merkmale und Besonderheiten des Verdauungstraktes. Durch den- im Vergleich zu anderen Nutztierarten sehr kurzen Verdauungstrakt- stellt das Huhn hohe Ansprüche an den Futterwert und die Verdaulichkeit der Rationskomponenten. Daraus resultiert eine höhere Passagerate des Nahrungsbreis und dementsprechend weniger Zeit für die Wirkung der Verdauungsenzyme. Es sollten somit Futtermittel eingesetzt werden, die hohe Verdaulichkeitswerte aufweisen, um den Nährstoffbedarf zu decken (JEROCH et al., 2008).

Der Verdauungsapparat des Geflügels beginnt mit dem Schnabel, welcher mit der Schlundkopfhöhle einen einheitlichen Raum bildet. Sie dienen ausschließlich der Nahrungsaufnahme, dem Gleitfähigmachen und Abschlucken. Eine Zerkleinerung der Nahrung findet nicht statt, da Backen, Backenmuskulatur und Zähne fehlen (VOLLMERHAUS & SINOWATZ, 2004).

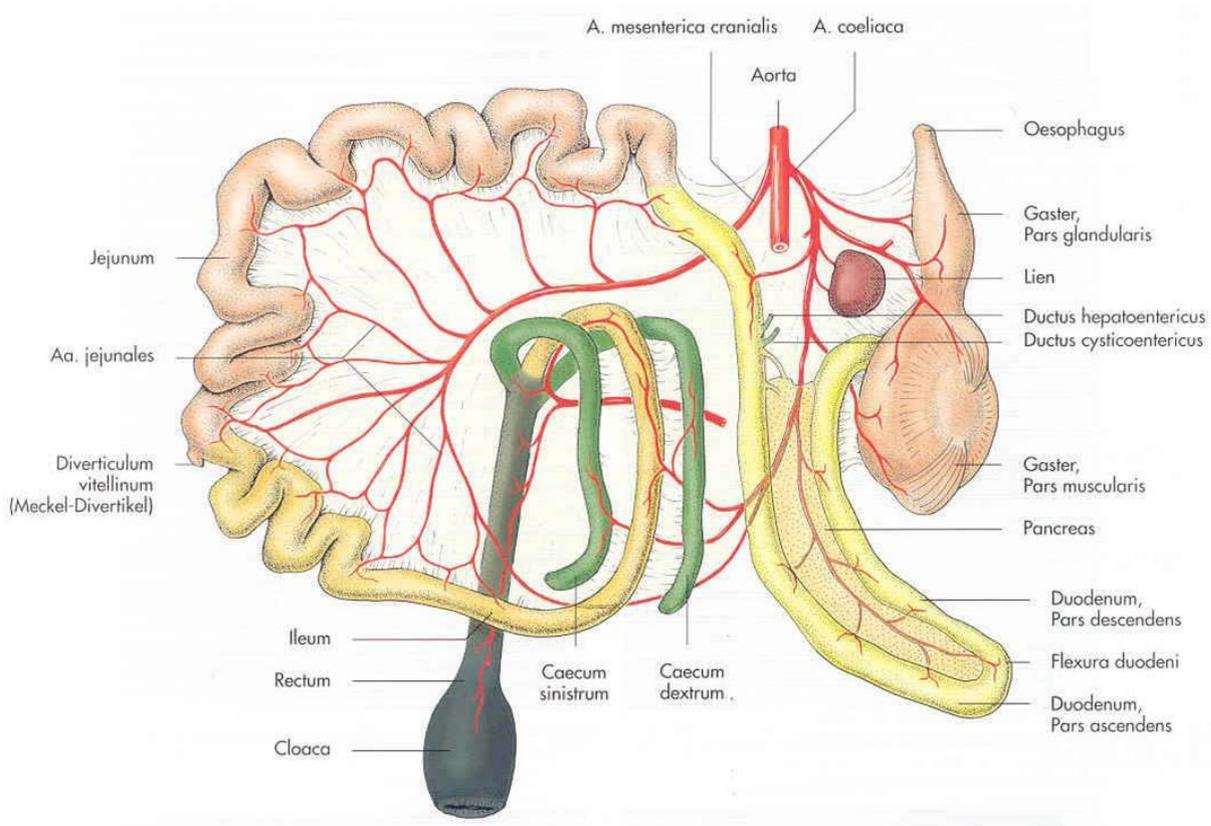


Abbildung 1: Aufbau des Verdauungstraktes beim Geflügel

Quelle: KÖNIG et al., 2009

## Literaturübersicht

Die Speicheldrüsen sind bei Vögeln nur wenig entwickelt. Eine Besonderheit des Geflügels ist das Vorhandensein eines Kropfes, welcher als drüsenlose, beutelförmige Aussackung der Speiseröhre anhängt und der Speicherung und Einweichung der Nahrung dient. Des Weiteren reguliert der Kropf die Magenfülle, da erst bei mehr oder weniger vollständiger Entleerung des Magens mit starken Kontraktionen der Nahrungsbrei in Richtung Drüsenmagen gedrückt wird (VOLLMERHAUS & SINOWATZ, 2004). Der Kropf ist intensiv mit Mikroorganismen, hauptsächlich Milchsäurebakterien besiedelt (COLLADO & SANZ, 2007). Die mikrobielle Fermentation führt damit zum ersten Aufschluss des Futters (GOODARZI BOROOJENI et al., 2014).

Der Magen des Geflügels ist deutlich in den Drüsenmagen und den Muskelmagen gegliedert. Der an die Speiseröhre angrenzende Drüsenmagen produziert durch die Vormagendrüsen sowohl Pepsinogen als auch Salzsäure. Je voller der Muskelmagen ist, desto länger verweilt der Nahrungsbrei im Drüsenmagen. So kann bei hungrigen Tieren die Verweildauer nur eine Minute betragen, bevor das Futter in den Muskelmagen weitergeleitet wird (VOLLMERHAUS & SINOWATZ, 2004).

Die Futterbestandteile kommen unzerkleinert in den Muskelmagen, so dass dieser die Funktion der Zerkleinerung hat. Die Innenwand ist mit einer Koilinschicht ausgekleidet. Diese besteht aus Glykoproteinen und gibt dem Magen eine sandpapierartige Oberfläche (HILL, 1971). Durch starke Kontraktion, mit dem Futter aufgenommenem Sand und kleinen Steinchen, wird der Nahrungsbrei zerrieben und mit den im Drüsenmagen erzeugten Sekreten vermischt. Bedingt durch den niedrigen pH-Wert der Salzsäure werden zum einen die Nahrungsproteine denaturiert und verlieren dadurch ihre Sekundär- und Tertiärstruktur, zum anderen wird Pepsinogen zu Pepsin umgewandelt, so dass die Proteinverdauung beginnt. Pepsin spaltet dabei, als Endopeptidase, vor allem Peptidbindungen von Nahrungsproteinen mit aromatischen Aminosäuren. Infolgedessen entstehen als Spaltprodukte Peptide und auch bereits Aminosäuren. Der feingemahlene Mageninhalt gelangt schließlich über den Pylorus in den Dünndarm (VOLLMERHAUS & SINOWATZ, 2004). Um den Pylorus zu passieren, benötigen die Futterpartikel eine bestimmte Größe. Diese liegt nach FERRANDO et al. (1987) bei 0,5 und 1,5mm. Daraus ergibt sich eine Retentionszeit zwischen einer halben und einer Stunde (VAN DER KLIES et al., 1990; DÄNICKE et al., 1999).

Der Dünndarm ist unterteilt in Duodenum, Jejunum und Ileum, wobei das Meckel'sche Divertikulum (Überbleibsel des Dottersackes) als willkürlicher Punkt festgelegt wurde, der den Übergang von Jejunum zum Ileum markiert (SIMON & ZENTEK, 2013). Am Duodenum befindet sich das Pankreas, welches ein pH-Wert neutralisierendes Sekret und

## Literaturübersicht

Verdauungsenzyme (Peptidasen, Nukleasen, Amylasen, Lipasen) sezerniert. Durch die Futterzusammensetzung wird das Muster dieser Enzyme beeinflusst und kann sich innerhalb von mehreren Tagen an die Gegebenheiten anpassen (VON ENGELHARDT, 2010). Mit dem Pankreassekret gelangen die Endopeptidasen Trypsin, Chymotrypsin und Elastase und die Exopeptidasen Carboxypeptidase A und B und Aminopeptidase in den Dünndarm. Diese liegen zunächst als Proenzyme in inaktiver Form vor und werden durch das Bürstensaumständige Enzym Enteropeptidase in ihre aktive Form überführt. Nach Aktivierung spalten die Enzyme die Nahrungsproteine zu Oligopeptiden und Aminosäuren. Die Peptidasen der Bürstensaummembran spalten die Oligopeptide zu Di- und Tripeptiden und Aminosäuren auf. Die so entstehenden Endprodukte können über verschiedene Transportsysteme in die Dünndarmepithelzellen aufgenommen werden. Di- und Tripeptide werden über H<sup>+</sup>-Peptid-Cotransport in die Dünndarmepithelzellen aufgenommen. Dort werden die Peptide zu freien Aminosäuren hydrolysiert und gelangen durch erleichterte Diffusion in das Interstitium. Freie Aminosäuren aus dem Darmlumen gelangen durch sekundär aktiven Transport über Na<sup>+</sup>-Cotransportsysteme in die Epithelzellen. Der Dünndarm endet an der Einmündung der paarigen Blinddärme (VOLLMERHAUS & SINOWATZ, 2004).

Der Dickdarm des Geflügels wird in zwei Abschnitte unterteilt: die beiden Blinddärme und das kurze Rectum. In den Blinddärmen befinden sich sehr viele Mikroorganismen. Diese bauen hauptsächlich zellulosereiches Futter ab und bilden dabei kurzkettige Fettsäuren. Es gelangen allerdings nur etwa 10% der Digesta in die Blinddärme (SIMON & ZENTEK, 2013). Eine Besonderheit im N-Stoffwechsel im Dickdarm der Vögel ist, dass durch antiperistaltische Bewegungen im Rectum, Harn aus der Kloake in die Caeca transportiert werden kann. Die Mikroorganismen können so den Stickstoff aus der Harnsäure und aus dem Harnstoff bei der mikrobiellen Proteinsynthese verwerten. Die Blinddärme werden mit jedem siebenten bis zehnten Absetzen von Darmkot entleert (SIMON & ZENTEK, 2013). In dementsprechend großen Abständen erfolgt auch die Befüllung der Blinddärme.

Im Rectum und dem proximalen Teil der Kloake erfolgt eine beträchtliche Resorption von Wasser, kurzkettigen Fettsäuren und Elektrolyten aus dem Chymus. Der Kot wird gemeinsam mit dem Harn über die Kloake als Exkremente ausgeschieden (VON ENGELHARDT, 2010).

## 2.2. Protein- und Aminosäurebedarf

Der Nahrungsbedarf für Protein ist eigentlich ein Bedarf an Aminosäuren. Aminosäuren sind die Bausteine des Proteins und die Produkte der Proteinhydrolyse. Es gibt über 20 Aminosäuren im Körperprotein, welche alle von Bedeutung für die physiologischen Vorgänge sind. Das Geflügel ist jedoch nicht in der Lage, 10 dieser Aminosäuren zu synthetisieren. Diese müssen daher mit der Nahrung zugeführt werden und gelten als essentielle Aminosäuren (RAVINDRAN & BRYDEN, 1999). Es sind Lysin, Methionin, Tryptophan, Threonin, Arginin, Isoleucin, Leucin, Histidin, Phenylalanin und Valin. Glycin ist bei modernen Masthybriden mitunter auch unverzichtbar, da die Syntheserate für die maximale Wachstumsrate der Broiler oft nicht ausreichend ist. Tyrosin und Cystin gelten als „semi-essentiell“, da sie in Geweben aus Phenylalanin bzw. Methionin gebildet werden können (RAVINDRAN & BRYDEN, 1999). Als erstlimitierende Aminosäure für das Geflügel gilt Methionin (oder Methionin + Cystin), als zweite limitierende Aminosäure Lysin (RAVINDRAN & BRYDEN, 1999). Der Bedarf an Aminosäuren ist abhängig vom Alter und der Nutzungsrichtung der Tiere und errechnet sich nach der Empfehlung der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 1999) nach folgender Formel (1).

Formel (1):

$$AA_I = \frac{AA_m \times LM_{kg} + (\Delta AA_F + \Delta AA_{TK})}{k_{AA}}$$

Dabei ist:

$AA_I$	= Gesamtaminosäurebedarf (g/Tier/d)
$AA_m$	= Aminosäureerhaltungsbedarf (g/LM <sub>kg</sub> /d)
$\Delta AA_F$	= Aminosäureansatz in den Federn (g/d)
$\Delta AA_{TK}$	= Aminosäureansatz im Tierkörper (g/d)
$k_{AA}$	= durchschnittlicher Verwertungsgrad der Futteraminosäuren (g/g)

## 2.3. Bestimmung der Verdaulichkeit

Die Werte für die Aminosäureverdaulichkeit können auf verschiedene Weise bestimmt und dargestellt werden. Werden Kot oder Chymus zur Analyse herangezogen, ohne um die diätetischen und auch endogenen Aminosäuren zu korrigieren, spricht man von der „scheinbaren“ Verdaulichkeit (RAVINDRAN & BRYDEN, 1999). Da niedrige Protein- und

## Literaturübersicht

Aminosäureaufnahmen dazu führen können, dass in der Digesta größere Anteile endogener Aminosäuren in Bezug auf das Protein aus der Nahrung vorhanden sind, wird die Aminosäureverdaulichkeit aufgrund eines hohen endogenen Aminosäureanteils meist unterschätzt. Mit zunehmender Proteinzufuhr nimmt jedoch der Anteil endogener Aminosäuren ab und die scheinbare Verdaulichkeit nähert sich der wahren Verdaulichkeit an (MCNAB, 1989; RAVINDRAN & BRYDEN, 1999). Endogene Aminosäuren im Magen-Darm-Trakt stammen aus verschiedenen Quellen wie z.B. aus dem Speichel, der Galle, oder aus den Sekreten des Pankreas, des Magens und des Darms. Mukoproteine und abgestorbene intestinale Epithelzellen tragen ebenso dazu bei, wie Metabolite in Form von Peptiden und freien Aminosäuren, welche durch Mikroorganismen im Blind- und Dickdarm hergestellt werden. Dabei machen Threonin, Serin, Glutamin- und Asparaginsäure den größten Anteil der endogenen Aminosäuren aus (ADEDOKUN et al., 2007, BLOK et al., 2017). Es ist wichtig, diese Verluste zu schätzen, da sie für die Standardisierung der Verdaulichkeitskoeffizienten als unvermeidlich und notwendig angesehen werden.

Die endogenen Aminosäureverluste können in zwei Fraktionen geteilt werden: die basalen Verluste, welche unvermeidlich und stoffwechselbedingt sind und unabhängig von der Zusammensetzung des Testfutters entstehen (LEMME et al., 2004), aber proportional zur Trockenmasseaufnahme (JANSMAN et al., 2002) sind. Sie sind konstant und unabhängig vom Aminosäurelevel des Futters. BLOK et al. (2017) werteten die Ergebnisse von 34 Veröffentlichungen aus und kamen zu dem Ergebnis, dass pro Kilogramm aufgenommener TM 5,9g basale endogene Aminosäuren zu erwarten sind.

Die spezifischen endogenen Verluste entstehen durch die Art, Zusammensetzung und Struktur des Futters und variieren in ihrer Höhe. So können beispielsweise hohe Rohfasergehalte (KLUTH & RODEHUTSCORD, 2009b) und das Vorhandensein antinutritiver Substanzen zu spezifischen Aminosäureverlusten führen (ANGKANAPORN et al., 1994). Der gesamte endogene Aminosäurestrom im Verdauungstrakt ist die Summe der basalen körpereigenen Proteine und ernährungsinduzierter Sekrete.

Werden die erhaltenen Werte der Verdaulichkeit um die basalen Verluste korrigiert, spricht man von der standardisierten Verdaulichkeit (LEMME et al., 2004), bei Korrektur um basale und spezifische Verluste von der wahren Verdaulichkeit (STEIN et al., 2007). Der regressionsanalytische Ansatz nach RODEHUTSCORD et al. (2004) berücksichtigt beides. Die Grundlage der Methode ist zum einen die Annahme, dass die Menge der basalen endogenen Aminosäuren konstant ist, zum anderen, dass die spezifischen Verluste

proportional zur Menge an aufgenommener Proteinmenge steigen. Durch die Zulage abgestufter Mengen der Testkomponenten gehören die spezifischen Verluste zur geschätzten Verdaulichkeit, während die basalen Verluste im Intercept berücksichtigt werden.

### **2.4. Einflüsse auf die preacaecale Verdaulichkeit**

Untersuchungen zur pc Verdaulichkeit verschiedenster Futtermittel sind zahlreich. Dennoch ist eine vollständige Vergleichbarkeit zwischen den Daten nicht gegeben, da sich die Methodik unterscheidet (KLUTH & RODEHUTSCORD, 2009a).

#### **2.4.1. Einfluss der Tierart**

Zunächst wird unterschiedliches Tiermaterial verwendet. Verschiedene Autoren haben festgestellt, dass Daten vom Broiler nicht ohne weiteres auf Legehennen oder Hähne übertragen werden können (HUANG et al., 2007). Untersuchungen von HUANG et al. (2006) zeigen, dass Broiler Weizen, Mais und Hirse signifikant besser verdauen als Legehennen oder Hähne. Bei Soja-, Raps- und Baumwollextraktionsschrot zeigten sich allerdings keine signifikanten Unterschiede. ADEDOKUN et al. (2009) verglichen die Verdaulichkeit der Aminosäuren caeectomierter Hähne mit denen von Legehennen und Broilern. Die caeectomierten Hähne zeigten höhere Verdaulichkeiten bei Raps-, Sojaextraktionsschrot und Fleischknochenmehl als die Broiler. Keine Unterschiede konnten die Autoren bei Mais und Getreideschlempe feststellen. Für die Legehennen wurde eine niedrigere Mais- und eine höhere Fleischknochenmehlverdaulichkeit ermittelt als für die Broiler. Auch ADEDOKUN et al. (2015) stellten beim Vergleich von Legehennen und Broilern fest, dass die fünf getesteten Getreideschlempen signifikant bessere Rohproteinverdaulichkeiten beim Broiler aufwiesen, jedoch nicht bei allen Aminosäuren. Eine Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Nutzungsrichtungen ist somit nicht gegeben, bzw. sind die veröffentlichten Ergebnisse uneinheitlich in ihren Aussagen. Es ist somit anzuraten, separate Untersuchungen für Broiler, Legehennen und Hähne durchzuführen.

#### **2.4.2. Einfluss des Alters**

Über eine bessere Verdaulichkeit mit steigendem Alter bei Broilern und Puten berichten ADEDOKUN et al. (2007). Während sich die Verdaulichkeiten zwischen dem 5. und dem 15. Tag signifikant unterschieden, traten zwischen 15. und 21. Tag keine signifikanten Unterschiede mehr auf. HUANG et al. (2005) stellten dies ebenfalls bei Rationen mit Mais fest, in Rationen mit Weizen hingegen sank die Verdaulichkeit mit steigendem Alter.

Hingewiesen werden sollte an dieser Stelle darauf, dass auch die Untersuchungen von HUANG et al. (2006), ADEDOKUN et al. (2009) und ADEDOKUN et al. (2015) zum Einfluss der Nutzungsarten, mit Tieren durchgeführt wurden, die verschiedenen Alters waren und die ermittelten Unterschiede auch darauf zurückzuführen sind.

### **2.4.3. Einfluss des Beprobungsabschnittes**

Ein weiterer wichtiger Unterschied in der Methodik der Untersuchungen zur pc Aminosäureverdaulichkeit ist die Art und Weise der Sammlung des Probenmaterials. Üblicherweise wird hierzu der Inhalt des Darmabschnittes zwischen Meckel'schem Divertikulum und Ileo-Caecal-Klappe genutzt. Jedoch variiert die Vorgehensweise der Probengewinnung zwischen verschiedenen Studien, da innerhalb des entnommenen Bereichs unterschiedliche Abschnitte für die Chymusgewinnung gewählt wurden. So nahmen KADIM und MOUGHAN (1997) und KADIM et al. (2002) den Inhalt der letzten 15 cm des Ileums, während RAVINDRAN et al. (2001) den entnommenen Darmabschnitt halbierten und die hintere Hälfte zur Chymusentnahme wählten. KLUTH et al. (2005b) konnten nachweisen, dass der entnommene Darmabschnitt gedrittelt werden sollte und lediglich der Inhalt des medialen und terminalen Abschnittes zur Analyse herangezogen werden sollte, da im proximalen Abschnitt die Aminosäureverdauung noch nicht abgeschlossen ist. Dies wurde durch REZVANI et al. (2008) bestätigt, welche Raps- und Sojaextraktionsschrot bei Legehennen prüften. Auch die Ergebnisse der eigenen Untersuchung (Kap. 4.2.) unterstützen diese Empfehlung zur Vorgehensweise der Chymusentnahme von KLUTH et al. (2005b) und REZVANI et al. (2008). Eine vergleichende Studie von RAVINDRAN et al. (2017), an der mehrere Institute teilnahmen, legte ein standardisiertes Protokoll zur Bestimmung der pc Verdaulichkeit fest, um in Zukunft die Vergleichbarkeit zwischen Untersuchungen zu gewährleisten. Unter anderem sollte die hintere Hälfte des entnommenen Darmabschnittes zur Analyse genutzt werden.

### **2.4.4. Einfluss der Futterstruktur**

Die Futterstruktur und Darreichungsform der Futtermittel führen ebenso zu differenten Ergebnissen. Lange Zeit wurde das Futter sehr fein vermahlen (VON REICHENBACH, 2011), mit dem Hintergrund, die Partikelanzahl zu erhöhen und so den Verdauungsenzymen eine größere Angriffsfläche zu bieten. In den letzten Jahren wurde allerdings verstärkt das Augenmerk daraufgelegt, gröberes Futter oder ganze Getreidekörner beim Geflügel einzusetzen. Gründe dafür sind zum einen die Einsparung der Verarbeitungskosten des Futters,

zum anderen rückt verstärkt die Magen-Darm-Gesundheit der Tiere in den Vordergrund. Bei Fütterung von sehr fein vermahlenem, pelletiertem Mischfutter kann nach SAIF et al. (2008) ab der vierten Lebenswoche das Krankheitsbild der Drüsenmagendilatation beobachtet werden, was bis zum Tod des Tieres führen kann. SANTOS et al. (2008) berichten von signifikant verringerter Anzahl von *Salmonella Typhimurium* bei Fütterung mit grob zermahlenem Mais bzw. ganzen Triticalekörnern. Auch ENGBERG et al. (2004) stellten eine signifikante Minderung der Zellzahlen von *Clostridium perfringens* bei Fütterung von ganzem Weizen fest. Begründet wird die Reduktion der Keimzahlen zumeist mit der Stimulierung des Drüsen- und Muskelmagens. Durch die grobe Futterstruktur wird zum einen die HCl-Sekretion stimuliert, zum anderen verbleiben die groben Partikel länger im Magen bis sie soweit zerkleinert sind, dass sie den Pylorus passieren können.

Auch die Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren wird durch die Futterstruktur beeinflusst. BIGGS & PARSONS (2009) wiesen eine signifikant höhere Aminosäureverdaulichkeit beim Einsatz von 20% ganzem Weizen in der Ration nach. PARSONS et al. (2006) konnten ebenso eine höhere Nährstoffverdaulichkeit bei Fütterung von groben Maispartikeln feststellen. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen ROUGIÈRE et al. (2009) die 30% grobe Maispartikel einsetzten und signifikant bessere Stärke- und Proteinverdaulichkeiten erhielten. Auch GANZER et al. (2007) konnten eine bessere Aminosäureverdaulichkeit bei größerem Mais darstellen, nicht jedoch bei größerem Sojaextraktionsschrot. Der positive Einfluss grober Futterkomponenten auf die Nährstoffverdaulichkeit und Leistung der Tiere wird der Muskelmagenentwicklung zugeschrieben (AMERAH et al., 2008; NIR et al., 1994a; NIR et al., 1994b). Wie bereits erwähnt, verbleiben gröbere Partikel länger im Muskelmagen, was somit auch zu einem längeren Kontakt zur Salzsäure und den Verdauungsenzymen führt und zu einem intensiveren Nährstoffaufschluss führen kann (SVIHUS, 2011).

### **2.4.5. Einfluss antinutritiver Substanzen**

Einen negativen Einfluss auf die Protein- und Aminosäureverdaulichkeit haben antinutritive Inhaltsstoffe, wie zum Beispiel Tannine (EBADI et al., 2007) oder Nicht-Stärke-Polysaccharide (CHOCT & ANNISON, 1992, CHOCT et al., 1992, STEENFELDT et al., 2003).

### 2.4.5.1. Nicht-Stärke-Polysaccharide

Als Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP) werden alle Polysaccharide, die in Pflanzen vorkommen und nicht der Stärke zu zuordnen sind, bezeichnet. Der tierische Organismus ist nicht in der Lage Enzyme zum Abbau dieser Substanzen zu bilden. Zu den NSP gehören: Cellulose, 1-3, 1-4- $\beta$ -Glucane, Arabinoxylane, Mannane, Galactane, Xyloclucane, Inulin und Pectin.

Nicht-Stärke-Polysaccharide machen etwa 700-900 g/kg der pflanzlichen Zellwand aus (BACH KNUDSEN, 2001). Derartige Angaben schwanken je nach Sorte, Herkunft, Reifestadium und Klima (BACH KNUDSEN, 1997; DUSEL et al., 1997; STEENFELDT, 2001). Der antinutritive Effekt dieser Verbindungen besteht in dem hohen Quell- und Wasserbindungsvermögen der löslichen Anteile der NSP, was zur erhöhten Viskosität des Darminhaltes führt und so die Diffusionsrate von Nährstoffen und Enzymen vermindert. Davon sind besonders junge Tiere betroffen, da deren mikrobielle Aktivität im Verdauungstrakt noch gering ist. Durch die daraus resultierende verlangsamte Futterdurchgangszeit kann es zu einer Verschiebung des Artenspektrums der Darmmikroben im vorderen Darmabschnitt kommen und zu einer Erhöhung der pathogenen Keimzahl im Verdauungstrakt (BEDFORD & MORGEN, 1996, SIMON, 1997). Folgen davon sind verminderte Lebenmassezunahmen, bis hin zu Durchfällen und den damit verbundenen gesundheitlichen und hygienischen Problemen. CHOCT & ANNISON (1992) prüften die Zugabe von extrahierten Weizenpentosanen (40 g/kg Futter) und beobachteten eine signifikante Verringerung der Leistung, der Futtermittelverwertung, der scheinbar umsetzbaren Energie sowie schlechtere N-Verdaulichkeiten. Somit ist besonders bei jungem Geflügel auf die Einsatzhöhe des Getreides zu achten.

Im Weizen finden sich im wesentlichen Arabinoxylane (35 – 75 g/kg TM) (BACH KNUDSEN, 2014) und  $\beta$ -Glucane (3,0 – 11,5 g/kg TM) (JEROCH, 2008). Dominierend sind diese Verbindungen in der Aleuronschicht des Weizenkorns.

Arabinoxylane bestehen aus Xylose und Arabinose, wobei das mengenmäßige Verhältnis von der Lokalisation im Korn abhängt. Über eine 1-4 Verknüpfung sind die  $\beta$ -D-Xylopyranosylreste zu einer Kette verknüpft und über O-3 und O-2 Bindungen mit  $\alpha$ -L-Arabinofuranosylresten substituiert (SIMON, 2008). Die  $\beta$ -Glucane bestehen nur aus  $\beta$ -Glukose, die hauptsächlich über  $\beta$ -1-4-Bindungen zu einer Kette verbunden sind. Durch  $\beta$ -1-3-Bindungen aller 3 – 4 Moleküle kommt es zu einem Abwinkeln der Kette.

Der NSP-Gehalt des Weizens wird, ebenso wie die anderen Rohrnährstoffe von Genotyp, Standort und Umweltbedingungen beeinflusst (DUSEL, 1998). Besonders die Menge an löslichen NSP-Fraktionen wird nach DUSEL (1998) durch den Standort beeinflusst. CHOCT

et al. (1996) zeigten, dass hohe Temperaturen und wenig Niederschlag während der Phase des Kornfüllens und nasse Ernteperioden zu geringeren Gehalten an NSP führen.

### 2.4.6. Einfluss von Enzymen

Um die antinutritiven Effekte der NSP und andere Substanzen zu mindern, werden heutzutage in den meisten Alleinfuttermitteln, die in der konventionellen Landwirtschaft bei Geflügel und Schweinen eingesetzt werden, mikrobielle Enzyme zugesetzt.

Die Hauptziele des Einsatzes sind nach SIMON (1994):

- Die Wirkung antinutritiver Inhaltsstoffe des Futters zu beseitigen,
- Inhaltsstoffe, die nicht durch körpereigene Enzyme abgebaut werden können, zu verwerten
- Die körpereigene Enzymaktivität quantitativ zu ergänzen
- Die Extraktion von Stickstoff und Phosphor zu minimieren

In der Praxis am meisten genutzte Enzyme sind NSP- spaltende Enzyme und Phytasen. Die Zielsubstrate der NSP-Enzyme sind einerseits 1,3-1,4- $\beta$ -D-Glucane, die in löslicher Form besonders in Körnern von Gerste und Hafer vorkommen, und andererseits Arabinoxylane, die in löslicher Form besonders in Roggen, Weizen und Triticale vorliegen (BACH KNUDSEN, 2014). Die Wirksamkeit der NSP-Enzyme wird von der Getreideart und -charge, der Tierart und dem Alter der Tiere beeinflusst (BEDFORD & MORGAN, 1996).

NSP-spaltende Enzyme sind komplexe, dreidimensionale Proteine. Sie sind in der Lage, spezifische Substrate oder chemische Verbindungen, die von Monogastriden nicht verdaut werden können, in absorbierbare Moleküle zu zersetzen. Es sind glycosidspaltende Hydrolasen. Sie werden, je nachdem ob sie nur die endständigen Bausteine des Molekülstranges abspalten oder Bindungen innerhalb des Molekülstranges spalten, in Exo - und Endo-Enzyme, sowie nach der Art der gespaltenen Substrate in  $\beta$ -Glucanasen und Xylanasen eingeteilt. Die Enzyme sind substratspezifisch und somit hängt ihre Aktivität sowohl von der Konzentration des Enzyms, als auch von der des Substrates ab; des weiteren vom Vorhandensein von Inhibitoren, die sich mit dem Enzym bzw. dem Enzym-Substrat-Komplex verbinden können, sowie von Umweltfaktoren wie Temperatur und pH-Wert (MCDONALD, 2002).

Die gebräuchlichsten NSP-Hydrolasen in der Tierernährung sind Cellulase (1,4  $\beta$ -D-Glucanase),  $\beta$ -Glucanase (1,3-1,4  $\beta$ -D-Glucanase) und Xylanase (1,3-1,4- $\beta$ -D-Xylanase).

## Literaturübersicht

Als Futterzusatzstoffe müssen die Enzyme bestimmte Qualitätsmerkmale aufweisen:

- Da die Enzyme meist vor dem Verarbeitungsprozess in das Futter gemischt werden, müssen sie eine hohe Thermostabilität besitzen. Kurze Hitzebehandlungen beispielsweise durch Pelletieren, dürfen das Enzym nicht inaktiviert werden lassen.
- Da die Enzyme den Magen passieren müssen, dürfen sie nicht instabil gegenüber saurem Milieu sein. Der optimale pH-Wert für die Enzymaktivität liegt in dem Bereich von 3,5 - 5,5 (McNAB, 1973).
- Frei von Toxinen (SIMON et al., 1993).

Die als Futterzusatzstoffe zugelassenen Enzyme werden von verschiedenen Mikroorganismen produziert. Die NSP-spaltenden Enzyme werden zum größten Teil aus Pilzen hergestellt, wobei zu den meist genutzten Pilzgattungen *Aspergillus ssp.* (z. B. *A. niger*), *Humicola ssp.* (z. B. *H. insolens*), *Penicillium ssp.* und *Trichoderma ssp.* (z. B. *T. reesei*) gehören. Aus der Gruppe der Bakterien werden *Bacillus ssp.* (z.B. *Bacillus subtilis*) für die Enzymproduktion genutzt (PAPE, 1997). Der Einsatz erfolgt als Mono- oder Multienzympräparat, wobei der Einsatz von Multienzympräparaten von Vorteil sein kann. Da die Enzyme substratspezifisch sind, verspricht der Einsatz mehrerer Enzyme Vorteile bei der Aufspaltung nachteiliger Stoffe, die im Futter vorhanden sein können.

Die Hauptaktivität der supplementierten Enzyme liegt im vorderen Bereich des Dünndarms. Aber auch schon im Magen beginnen die Enzyme zu wirken, wo deren Aufenthaltsdauer allerdings gering ist. Die Wirkungsprinzipien sind folgende:

Durch Abspaltung der Seitenketten der NSP-Verbindungen wird deren Fähigkeit, Wasser zu binden, aufgehoben. Der dadurch weniger visköse Darminhalt kann besser von den körpereigenen Verdauungssäften und den darin enthaltenen Enzymen durchmischt werden. Damit wird die Nährstoffverdaulichkeit, durch den verbesserten Kontakt zur resorptiven Magen-Darm-Oberfläche (FÖRSTER, 2003), sowie die umsetzbare Energie des Futters gesteigert (CHOCT, 1997).

Durch das Aufschließen der Zellwandstruktur des Getreides gelangen die körpereigenen Enzyme an die zuvor eingeschlossenen Nährstoffe (Käfigeffekt). Dabei werden nicht nur Fette, Proteine und Kohlenhydrate frei, sondern auch Mineralstoffe (z. B. Ca, Mg und Zn), welche dem Tier damit zur Verfügung stehen.

Die Mikrobiota des Verdauungstraktes wird ebenfalls von NSP-spaltenden Enzymen beeinflusst. Durch die Konkurrenz um die zur Verfügung stehenden Nährstoffe werden bestimmte Mikroorganismen gefördert und andere wiederum zurückgedrängt. VAHJEN et al.

(1998) fanden bei Broilern, welche ein mit Xylanase supplementiertes Futter erhielten, höhere Gesamtkeimzahlen von *Lactobacillus spp.*, und niedrigere von Enterobakterien und grampositiven Kokken. Sie begründen diese Verschiebung der Kolonisation unter anderem mit der erhöhten Diffusionsrate durch das Herabsetzen der Viskosität des Chymus durch die Enzymgabe. Auch SHAKOURI et al. (2009) bestätigten eine Erhöhung der Lactobacillen in weizenbetonten Rationen.

Der Einsatz von Enzymen, welche die antinutritiven Eigenschaften mindern sollen, führt allerdings nicht immer zu positiven Ergebnissen. SELLE et al. (2003) fanden keinen Effekt des eingesetzten Xylanasezusatzes auf die Aminosäureverdaulichkeit, MULYANTINI & BRYDEN (2010) hingegen stellten eine signifikant bessere Verdaulichkeit fest. ESMAEILIPOUR et al. (2012) erhielten durch den Zusatz einer Xylanase eine signifikant verbesserte Trockenmasse und Rohproteinverdaulichkeit in einer weizenbasierten Ration. Auch COWIESON & MASEY O'NEILL (2013) prüften einen Xylanaseeinsatz in einer weizenbetonten Ration (62 -72% Weizen) beim Broiler. Sie erhielten erst am 49. Tag eine signifikante Verbesserung der Rohproteinverdaulichkeit im Vergleich zur Kontrolldiät.

### **2.5. Weizen**

Weizen (*Triticum aestivum*) zählt zu den ältesten Kulturpflanzen der Menschheit. Bereits vor 8.000-10.000 Jahren wurde er in seiner Wildform gesammelt und angebaut. Er ist nach der Gerste die am längsten kultivierte Getreideart und eines der wichtigsten Grundnahrungsmittel der Menschheit, die auch als Futtermittel eine wichtige Rolle spielt. Weizen nimmt heute weltweit von allen Getreidearten die größte Anbaufläche ein. Allein in Deutschland lag die Anbaufläche in 2017 bei 3,2 Mio. ha, mit einem Ertrag von 24,5 Mio. t (Weltweit 220 Mio. ha mit einem Ertrag von 794,5 Mio. t) (FAO, 2018). Er weist hervorragende Backeigenschaften auf. Weiterhin wird er zur Herstellung von Bier, Grieß, Weizenstärke und Weizenkeimölen und auch zur industriellen Produktion von Kosmetika und Papier verwendet. Die Bioethanolerzeugung gewinnt ebenso immer größere Bedeutung.

Die Vorfahren des heutigen Weizens liegen im eurasischen Gebiet, vermutlich im Norden der arabischen Halbinsel, sowie im Irak, Iran, Syrien und Saudi-Arabien (FELDMANN, 2001). Wahrscheinlich kam er vor etwa 7.000 Jahren nach Europa, zunächst in den Mittelmeerraum, wo er in der Antike von den Römern angebaut wurde. In Mitteleuropa konnte er sich erst im 11. Jahrhundert durchsetzen.

Durch Einkreuzung von Wildgrasarten und den gezielten Anbau, wurde schon frühzeitig nach vorteilhaften Eigenschaften selektiert. Die bekannten Kulturarten des Weizens haben heutzutage unterschiedliche Bedeutung. Während Einkorn (*Triticum monococcum*) und Emmer (*Triticum dicoccon*) heute keine wirtschaftliche Bedeutung mehr haben, wird Dinkel (*Triticum spelta*) wieder verstärkt angebaut. Hartweizen (*Triticum durum*) wird hauptsächlich im Mittelmeerraum kultiviert. Im Vordergrund des weltweiten Weizenanbaus steht Weichweizen (*Triticum aestivum*) mit 90% des gesamten Anbaus.

### **2.5.1. Weizen als Futtermittel**

Begründet durch den hohen Stärkegehalt zählt Weizen zu den Energiefuttermitteln. Wird er in größeren Anteilen dem Futter beigemischt kann er nicht unerheblich zur Eiweißversorgung beitragen. Der Mehlkörper (Stärkeendosperm) stellt den dominierenden Teil des Weizenkorns dar. Damit sind die N-freien Extraktstoffe (im wesentlichen Stärke) die Hauptkomponenten im Korn, gefolgt von Rohprotein, NDF, Rohfaser, Rohfett und Rohasche. Die Inhaltsstoffe des Weizens variieren stärker als bei anderen Getreidearten und unterscheiden sich je nach Genotyp, Anbauregion, Witterungsbedingungen und Nährstoffversorgung. Die Durchschnittswerte liegen bei 660 g/kg TM Stärke, 138 g/kg TM Rohprotein, 29 g/kg TM Rohfaser, 20 g/kg TM Rohfett und 15 g/kg Rohasche (JEROCH, 2008).

Im Vergleich zu den anderen Getreidearten wie Roggen und Gerste hebt sich Weizen durch eine sehr hohe Verdaulichkeit der organischen Substanz hervor. Der niedrige Rohfaseranteil erweist sich als vorteilhaft besonders für Monogastrier, so dass Einsatzbeschränkungen nur für junges Geflügel und Weizensorten mit sehr hohen Pentosangehalten gelten (JEROCH, 2013).

### **3. Material und Methoden**

Zur Erstellung der Arbeit wurden insgesamt acht Versuche mit Broilern durchgeführt, wovon vier Versuche (Versuch 1 – 4) im Rahmen des vom Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung geförderten Verbundprojektes „GrainUp“ bearbeitet wurden. Diese werden im Folgenden zusammen behandelt, da Versuchsaufbau und -durchführung identisch waren. Die Versuche 5 – 8 unterscheiden sich in der Versuchsdurchführung und werden einzeln beschrieben.

Für einen ersten Überblick sind in Tabelle (1) die einzelnen Versuche aufgelistet und spezielle Daten wie das Datum der Einstellung, des Versuchsbeginns und –endes, die Versuchsdauer, die Tierzahl, die Tiere pro Abteil zum Einstellen und nach der Reduzierung, die Anzahl der Versuchsmischungen und Wiederholungen pro Variante und der Aufstallungsort festgehalten.

#### **3.1. Allgemeiner Teil**

Die acht Versuche wurden zwischen Oktober 2011 und November 2013 im Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Versuchszentrum Merbitz der Universität Halle-Wittenberg durchgeführt. Der Versuchsaufbau war bei allen Versuchen entweder ähnlich oder identisch. Aus diesem Grund werden im Folgenden die gemeinsamen Aspekte beschrieben und die veränderten Sachverhalte der einzelnen Versuche in den dazugehörigen Kapiteln näher dargestellt.

##### **3.1.1. Tiere und Haltung**

Es standen zur Durchführung der Versuche zwei Ställe zu Verfügung: zum einen ein Stall mit 76 Abteilen in Bodenhaltung. Diese hatten eine Grundfläche von 1,7 m<sup>2</sup> und wurden mit einem Stroh/Sägespäne-Gemisch eingestreut. Die Klima- und Lichtverhältnisse entsprachen den gängigen Vorschriften und wurden elektronisch gesteuert. So betrug die Einstellungstemperatur 36°C und wurde bis zum 21. Lebenstag schrittweise auf 22°C abgesenkt. Die Beheizung des Stalles erfolgte mit Hilfe von zwei Gaskanonen, wobei in der ersten Woche nach dem Einstellen zusätzlich Rotlichtlampen in den Abteilen angebracht wurden. Die Beleuchtung wurde von 24 Stunden Dauerlicht in den ersten beiden Tagen auf 16 Stunden Helligkeit und 8 Stunden Dunkelphase umgestellt. Die Wasserversorgung der Tiere erfolgte über ein Strangsystem mit 2 Nippeltränken pro Abteil, welche mechanisch an die Größe der Tiere angepasst wurden. Das Futter wurde in portablen Automaten zur Verfügung gestellt und sowohl in der Starter- als auch in der Versuchsphase *ad libitum* angeboten.

Zum anderen konnte eine Broilerbatterie mit 36 Käfigen genutzt werden. Die Käfige waren in

zwei Reihen zu je 6 Käfigen in drei Etagen aufgestellt und hatten eine Grundfläche von 0,45 m<sup>2</sup>. Auch hier wurden die Klima- und Lichtverhältnisse elektronisch geregelt, wobei der Raum mit handelsüblichen Wandheizkörpern beheizt wurde. Die Wasserversorgung erfolgte über jeweils zwei Nippeltränken je Käfig; das Futter wurde über eine, außerhalb des Käfigs fest installiert verlaufende, Futterrinne angeboten.

Es wurden für alle acht Versuche männliche Eintagsküken der Genetik Ross 308 (Aviagen) vom Geflügelhof Möckern (Möckern, Deutschland) bezogen und aufgestellt. Diese wurden abhängig von der Versuchsbeschreibung entweder in Bodenhaltung oder in der Käfigbatterie eingestallt und erhielten die ersten 13 – 14 Tage handelsübliches Starterfutter (außer in Versuch 7). Am Tag der Umstellung auf das Versuchsfutter wurden alle Tiere einzeln gewogen und um 1 – 3 Tiere pro Abteil reduziert. Zumeist wurden der schwerste und der leichteste Broiler aus der Versuchsgruppe genommen, um eine weitgehend vergleichbare durchschnittliche Lebendmasse zwischen den Abteilen zu erhalten. Anschließend erhielten die Tiere das jeweilige Versuchsfutter über 4 – 7 Tage. Die unterschiedliche Fütterungsdauer in den einzelnen Versuchen hatte organisatorische Gründe. Ein Einfluss auf die Verdaulichkeit der Aminosäuren ergibt sich dadurch eher nicht (KLUTH & RODEHUTSCORD, 2010).

Die Futterraufnahme pro Abteil wurde sowohl für die Aufzucht- als auch für die Versuchsphase durch Rückwaage der Futterautomaten, bzw. in der Batterie durch Rückwaage des Futterrinneninhaltes ermittelt. Außerdem wurde die 24-Stunden-Futterraufnahme am letzten Tag vor der Schlachtung dokumentiert, um exaktere Werte für die späteren Berechnungen zur Verfügung zu haben.

### **3.1.2. Probennahme und -aufbereitung**

Am letzten Versuchstag wurden alle Tiere unblutig mittels CO<sub>2</sub>-Exposition getötet, einzeln gewogen und der Bauchraum eröffnet. Der Darmabschnitt zwischen Meckelschem Divertikulum und 2 cm vor der Ileo-Caecal-Klappe wurde entnommen, gedrittelt und der Chymus des medialen und terminalen Teilstücks wurde vorsichtig mit destilliertem Wasser ausgespült (KLUTH et al., 2005b). Der Chymus der Tiere eines Abteils wurde dabei gepoolt und nach der Sammlung sofort tiefgefroren, gefriergetrocknet und zur Analyse vermahlen.

Tabelle 1: Übersicht über die Versuchsparameter der durchgeführten Versuche

Versuch	Einfluss der Weizensorte und eines Enzymzusatzes				Einfluss von Alter, Darmabschnitt und Enzymzusatz	Einfluss des Aufstellungs- ortes	Einfluss einer Enzymvor- fütterung	Einfluss der Struktur des Weizens
	1	2	3	4	5	6	7	8
Aufstallungsort	Bodenhaltung	Bodenhaltung	Bodenhaltung	Bodenhaltung	Batterie	Bodenhaltung und Batterie	Bodenhaltung	Bodenhaltung
Einstellung	20.10.2011	17.11.2011	14.02.2012	09.03.2012	24.02.2012	27.09.2012	27.09.2012	05.11.2013
Versuchsbeginn	04.11.2011	01.12.2011	28.02.2012	23.03.2012	12.03.2012/ 26.03.2012	12.10.2012	11.10.2012	19.11.2013
Versuchsende	08.11.2011	06.12.2011	05.03.2012	27.03.2012	16.03.2012/ 30.03.2012	16.12.2012	15.10.2012	26.11.2013
Versuchsdauer in Tagen	4	5	6	4	4	4	4	7
Tierzahl	864	864	936	936	320	2 x 264	360	560
Anzahl Abteile	72	72	72	72	32	je 24	36	56
Tiere/Abteil→ Reduzierung	12→10	12→11	13→11	13→11	10→8 8→6	11→9	10→7	10→8
Mischungs- varianten	12	12	12	12	2	3	2 Starterfutter 4 Versuchsfutter	6
Wiederholungen	6	6	6	6	8	8	6	8

### 3.2. Versuchsbeschreibung

#### 3.2.1. Versuch 1 – 4

#### Zum Einfluss der Sorte und eines Enzymzusatzes auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren und der Stärke aus Weizen

##### 3.2.1.1. Rationsgestaltung

Zur Prüfung des Einflusses der Sorte wurden von der Landessaatzuchtanstalt der Universität Hohenheim 12 Genotypen unterschiedlicher Qualitäten (Tab. 2) zur Verfügung gestellt. Diese wurden alle auf den Versuchsstationen für Pflanzenzüchtung, Nutztierbiologie und Ökologischen Landbau der Universität Hohenheim am selben Standort in einer Streifenanlage angebaut und erhielten die gleichen ackerbaulichen Behandlungen. Die vorherrschende Bodenart am Anbauort ist sandig-toniger Lehm bis toniger Lehm, welcher mit 65 – 74 Bodenpunkten beschrieben wird. Im Anbaujahr 2011 fiel am Standort 548 l/m<sup>2</sup> Niederschlag (www.wetter-bw.de, 2018).

Tabelle 2: Geprüfte Weizensorten der Versuche 1 - 4 mit Angaben der Roh Nährstoffe und Nicht-Stärke-Polysaccharide (g/kg TM)

Qualität	Weizensorte (Versuchsnummer)	XP	XL	XF	NSP		Arabinoxylane	
					gesamt	löslich	gesamt	löslich
E	Akteur (1)	162	21,5	23,1	99	14	64,4	14,1
	Adler (1)	152	23,5	21,6	105	22	67,4	16,7
	Event (2)	137	21,3	26,2	96	10,6	60,9	8,3
A	JB Asano (3)	140	19,9	23,9	99	19	65,1	14,2
	Tommi (2)	140	20,0	20,1	94	12,4	62,2	9,7
	Brilliant (3)	137	21,8	21,1	113	29,7	74,2	22,5
	Pamier (4)	134	23,1	18,8	91	17	60,7	13
C <sub>k</sub>	Hermann (4)	130	24,5	25,2	98	20	62,5	13,2
	Tabasco (4)	125	22,2	21,0	96	18	60,9	12,4
C	Skalmeje (3)	131	18,7	18,8	90	19,3	58,5	12,8
	KWS Erasmus (1)	129	19,4	18,6	92	18,8	59,6	14,1
	Frument (2)	121	22,4	23,6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

n.a. = nicht analysiert

Die ausführlichen Angaben der Inhaltstoffe der einzelnen Weizensorten sind der Veröffentlichung von RODEHUTSCORD et al. (2016) zu entnehmen. Pro Versuch wurden drei Sorten geprüft. Da zur Auswertung ein regressionsanalytischer Ansatz genutzt werden sollte, wurden je Sorte zwei Zulagestufen (30 und 70 % Weizen) realisiert, welche nochmals

## Material und Methoden

mit dem Zusatz eines Enzympräparates (Econase XT 25<sup>®</sup>, AB Vista Feed Ingredients, Marlborough, UK) in einer Konzentration von 0,1 g/kg gemischt wurde (entspricht min. 16000 aktiven Einheiten pro kg Futter), so dass vier Mischungen je Sorte und 12 Mischungen pro Versuch hergestellt wurden.

Das eingesetzte Enzympräparat wird aus einem Stamm *Trichoderma reesei* hergestellt und enthielt als aktives Enzym eine Endo-1,4- $\beta$ -Xylanase, die stabil gegenüber Temperaturen bis 95°C ist.

Die Hauptkomponenten der Rationen waren Maisstärke, Sojaextraktionsschrot, Weizenkleber und die jeweilige Weizensorte, wobei die Maisstärke in den 70 %igen Mischungen komplett gegen den Weizen ausgetauscht wurde (Tab. 3). Weiterhin wurden Monocalciumphosphat, Viehsalz, Futterkalk und freie Aminosäuren, dem Bedarf von zwei Wochen alten Broilern nach Angaben der GfE (1999) entsprechend, zugesetzt.

Alle Mischungen enthielten Titandioxid als unverdaulichen Marker in einer Konzentration von 5 g/kg Futter und wurden durch eine 3 mm Matrize pelletiert.

Tabelle 3: Zusammensetzung der Versuchsmischung (g/kg) des 1. - 4. Versuchs

Mischung	30 % Weizen	70 % Weizen
Weizen	300	700
Maisstärke	400	0
Sojaextraktionsschrot	100	100
Weizenkleber	100	100
Sojaöl	18	18
Monocalciumphosphat	23	23
Viehsalz/ Futterkalk	3 /10	3 /10
Prämix <sup>1</sup>	10	10
L-Lysin-HCl	9	9
DL-Methionin / L-Cystin	2 / 2	2 / 2
L-Threonin	3,5	3,5
L-Arginin	5,5	5,5
L-Isoleucin	2,5	2,5
L-Leucin	2	2
L-Valin	4,5	4,5
Titandioxid	5	5

<sup>1</sup> Premix Inhaltsangaben (pro kg) [BASU-Mineralfutter GmbH, Bad Sulza, Deutschland]: Vitamin A, 1200000 IU; Vitamin D<sub>3</sub>, 300000 IU; Vitamin E, 4200 mg; Vitamin K<sub>3</sub>, 200 mg; Thiamin, 200 mg; Riboflavin, 700 mg; Vitamin B<sub>6</sub>, 500 mg; Vitamin B<sub>12</sub>, 2000 mg; Niacin, 3600 mg; Folsäure, 100 mg; Biotin, 15000 mg; Pantothenensäure, 1500 mg; Cholinchloride, 70000 mg; Zn, 5000 mg; Fe, 6000 mg; Mn, 6000 mg; I, 60 mg; Se, 20 mg

### **3.2.1.2. Tiere, Haltung und Probennahme**

Die Haltung der Broiler in Bodenhaltung verlief wie im allgemeinen Teil (Kapitel 3.1.1.) dargestellt. Die Erhöhung der Tierzahl im dritten und vierten Versuch war in der relativ geringen Chymusmenge der ersten beiden Versuche begründet. Es wurden je Versuch 72 Abteile des Stalls belegt, wobei die 12 Mischungen an jeweils 6 Abteile verfüttert wurden. Auch die Probennahme und –aufbereitung entsprach den Angaben im Allgemeinen Teil (Kapitel 3.1.2.).

### **3.2.2. Versuch 5**

#### **Zum Einfluss von Alter, Dünndarmabschnitt und Enzymzusatz auf die praecaecale Verdaulichkeit von Aminosäuren weizenbetonter Rationen**

##### **3.2.2.1. Rationsgestaltung**

Die Hauptkomponenten der zwei hergestellten Mischungen waren Weizen (Sorte Genius), Sojaextraktionsschrot und Weizenkleber. Einer der Mischungen wurde eine Xylanase (Econase XT 25<sup>®</sup>; 0,1 g/kg Futter, identisch mit Enzym aus Versuch 1 – 4) zugelegt. Die Zusammensetzung der Mischungen entsprach der 70 %igen Mischung aus Versuch 1 – 4 (Tabelle 3). Das Futter enthielt als unverdaulichen Marker 5 g Titandioxid je kg Futter und wurde pelletiert (3 mm).

##### **3.2.2.2. Tiere, Haltung und Probennahme**

Für diesen Versuch wurden 32 Käfige der Broilerbatterie belegt. Am 15. Lebenstag wurden die Tiere einzeln gewogen und um zwei Tiere reduziert. Es wurden allerdings nur 16 Abteile auf die beiden Versuchsmischungen umgestellt, wobei jeweils 8 Abteile dieselbe Mischung über 4 Tage erhielten. Die restlichen 16 Abteile erhielten weiterhin das Starterfutter bis zum 30. Lebenstag und wurden anschließend nochmals einzeln gewogen, auf 6 Tiere pro Abteil reduziert und ebenfalls für 4 Tage auf die beiden Versuchsmischungen umgestellt.

Am 19. bzw. 34. Lebenstag wurden die Tiere unblutig getötet. Die Probennahme entsprach der in Kapitel 3.1.2. beschriebenen Vorgehensweise, jedoch wurde nicht nur der Chymus des medialen und terminalen Teilstücks entnommen, sondern auch der des proximalen Teilstücks. Dabei wurde der Chymus der drei entnommenen Teilstücke jeweils separat mit destilliertem Wasser ausgespült und einzeln analysiert.

### 3.2.3. Versuch 6

#### Zum Einfluss des Aufstallungsortes auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Weizen

##### 3.2.3.1. Rationsgestaltung

Es wurde eine Grundmischung auf Basis von Maisstärke, Sojaextraktionsschrot und Weizenkleber erstellt. Die Mischung enthielt außerdem 30 % Weizen. Aus dieser Grundmischung wurden zwei weitere Mischungen erstellt, welche 50 % bzw. 70 % Weizen im Austausch gegen die Maisstärke enthielten (Tab. 4). Weiterhin wurden freie Aminosäuren und Mineralien, dem Bedarf entsprechend zugelegt. Als unverdaulicher Marker kam Titandioxid (5 g/kg Futter) zum Einsatz und das Futter wurde über eine 3 mm Matrize pelletiert.

Tabelle 4: Zusammensetzung des Versuchsmischungen (g/kg) des 6. Versuchs

Mischungen	30 % Weizen	50 % Weizen	70 % Weizen
Weizen	300	500	700
Maisstärke	400	200	0
Sojaextraktionsschrot	100	100	100
Weizenkleber	100	100	100
Sojaöl	18	18	18
Monocalciumphosphat	23	23	23
Viehsalz/ Futterkalk	3 /10	3 /10	3 /10
Prämix <sup>1</sup>	10	10	10
L-Lysin-HCl	9	9	9
DL-Methionin / L-Cystin	2 / 2	2 / 2	2 / 2
L-Threonin	3,5	3,5	3,5
L-Arginin	5,5	5,5	5,5
L-Isoleucin	2,5	2,5	2,5
L-Leucin	2	2	2
L-Valin	4,5	4,5	4,5
Titandioxid	5	5	5

<sup>1</sup>Premix Inhaltsangaben (pro kg) [BASU-Mineralfutter GmbH, Bad Sulza, Deutschland]: Vitamin A, 1200000 IU; Vitamin D<sub>3</sub>, 300000 IU; Vitamin E, 4200 mg; Vitamin K<sub>3</sub>, 200 mg; Thiamin, 200 mg; Riboflavin, 700 mg; Vitamin B<sub>6</sub>, 500 mg; Vitamin B<sub>12</sub>, 2000 mg; Niacin, 3600 mg; Folsäure, 100 mg; Biotin, 15000 mg; Pantothenensäure, 1500 mg; Cholinchloride, 70000 mg; Zn, 5000 mg; Fe, 6000 mg; Mn, 6000 mg; I, 60 mg; Se, 20 mg

### 3.2.3.2. Tiere, Haltung und Probennahme

Es wurden sowohl in Bodenhaltung, als auch in der Broilerbatterie in jeweils 24 Abteilen Eintagsküken aufgestellt. Es erhielten je 8 Abteile die gleiche Versuchsmischung über 4 Tage. Die sonstige Vorgehensweise, auch bei der Probennahme, entsprach der im Allgemeinen Teil (Kapitel 3.1.) beschriebenen.

### 3.2.4. Versuch 7

#### Zum Einfluss der Dauer einer Enzymfütterung auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Weizen

##### 3.2.4.1. Rationsgestaltung

Es wurde zunächst ein Starterfutter konzipiert mit den Hauptkomponenten Mais, Weizen und Sojaextraktionsschrot (Tab. 5). Zu einem Drittel der Mischung wurde eine Xylanase (Econase XT25<sup>®</sup>, AB Vista Feed Ingredients, Marlborough, UK, 0,1 g/kg Futter) supplementiert. Weiterhin wurden zwei Versuchsmischungen mit 30 % und 70 % Weizen (Sorte Event) erstellt, welche in der Zusammensetzung den Mischungen aus Versuch 1 – 4 entsprachen (Tabelle 2). Beide Futtermischungen wurden jeweils mit und ohne Enzymzusatz (Econase XT25<sup>®</sup>, 0,1 g/kg Futter) gemischt.

Tabelle 5: Zusammensetzung des Starterfutters (g/kg) des 7. Versuchs

Weizen	350
Sojaextraktionsschrot	400
Mais	200
Sojaöl	18
Monocalciumphosphat	5
Viehsalz	3
Futterkalk	12
Prämix <sup>1</sup>	10
L-Cystin	1
DL-Methionin	1

<sup>1</sup> Prämix Inhaltsangaben (pro kg) [BASU-Mineralfutter GmbH, Bad Sulza, Deutschland]: Vitamin A, 1200000 IU; Vitamin D<sub>3</sub>, 300000 IU; Vitamin E, 4200 mg; Vitamin K<sub>3</sub>, 200 mg; Thiamin, 200 mg; Riboflavin, 700 mg; Vitamin B<sub>6</sub>, 500 mg; Vitamin B<sub>12</sub>, 2000 mg; Niacin, 3600 mg; Folsäure, 100 mg; Biotin, 15000 mg; Pantothenensäure, 1500 mg; Cholinchlorid, 70000 mg; Zn, 5000 mg; Fe, 6000 mg; Mn, 6000 mg; I, 60 mg; Se, 20 mg

### 3.2.4.2. Tiere, Haltung und Probennahme

Es wurden 360 Eintagsküken in Bodenhaltung in 36 Abteilen zu je 10 Tieren aufgestellt. Im Gegensatz zu den anderen Versuchen bekamen die Tiere ab dem ersten Tag das selbst gemischte Starterfutter. Dabei erhielten 24 Abteile Starterfutter ohne Enzymzusatz und 12 Abteile Starterfutter mit Enzymzusatz bis zum 13. Lebenstag *ad libitum*. Am 14. Lebenstag wurden die Tiere folgendermaßen auf die Versuchsfutter umgestellt (Abb. 2): 12 der 24 Abteile, welche das Starterfutter ohne Enzym erhielten, wurden auf die 30 % bzw. 70 % Ration ohne Enzym umgestellt. Die anderen 12 Abteile bekamen die 30 % bzw. 70 % Ration mit Enzym. Die 12 Abteile, welche das Starterfutter mit Enzym bekamen, wurden auf die 30 % bzw. 70 % Ration mit Enzym umgestellt. Es ergab sich somit eine Anzahl von 6 Wiederholungen pro Ration.

Die Probennahme erfolgte auf die übliche Weise (Kapitel 3.1.2).

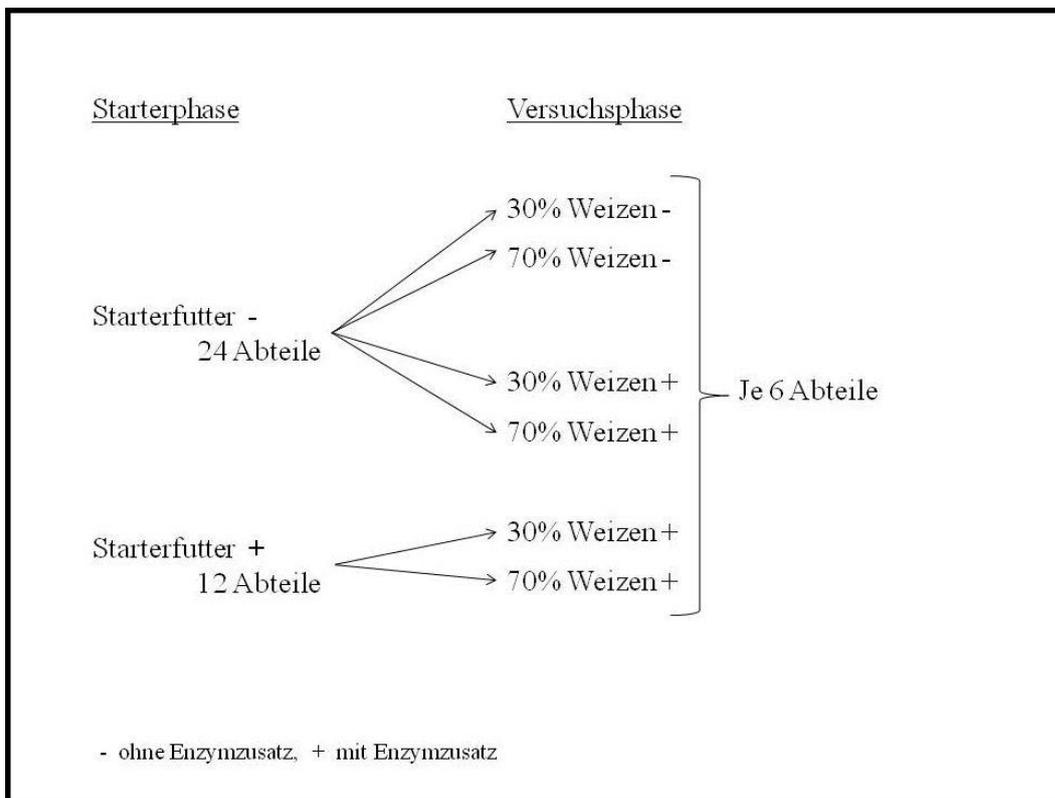


Abbildung 2: Versuchsgestaltung zum Einfluss der Dauer einer Enzymfütterung auf die pc Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Weizen

### **3.2.5. Versuch 8**

#### **Einfluss der Struktur des Weizens (geschrotet vs. ganz) auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren**

##### **3.2.5.1. Rationsgestaltung**

Nach dem gleichen Schema wie in Versuch 6 (Tab. 4) wurden zunächst drei Mischungen mit geschrotetem Weizen (3,5 mm Sieb), dann drei Mischungen mit ganzem Weizen (Sorte Tobak) mit jeweils 30 %, 50 % und 70 % Weizen gemischt. Alle Mischungen enthielten Titandioxid als unverdaulichen Marker und wurden pelletiert.

##### **3.2.5.2. Tiere, Haltung und Probennahme**

Es wurden 560 Eintagsküken in 56 Abteilen zu je 10 Tieren in Bodenhaltung aufgestellt. Die Haltung, Fütterung und Probennahme erfolgten nach den in Kapitel 3.1.2. beschriebenen Angaben.

### **3.3. Analysen**

Die Analysen des Probenmaterials wurden, mit Ausnahme der Stärke, der Prüfung der Enzymaktivität und der nassen Siebanalyse im Labor der Professur für Tierernährung, der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, durchgeführt.

Alle Futtermischungen wurden auf ihre Gehalte an Weender Roh Nährstoffen, Aminosäuren und Titandioxid analysiert. Zusätzlich erfolgte für die Versuchsmischungen und den Chymus der Versuche 1 – 4 die Analyse des Stärkegehalts. Der gesammelte Chymus aller Versuche wurde auf Rohprotein, Aminosäuren und Titandioxid analysiert. Die Analysen erfolgten nach den Richtlinien der VDLUFA (NAUMANN & BASSLER, 1976). Im Rahmen des Verbundprojektes „GrainUp“ wurden alle eingesetzten Weizensorten ebenfalls an der Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie der Universität Hohenheim auf folgende Inhaltsstoffe und Eigenschaften hin untersucht: Roh Nährstoffe, Aminosäuren, Mineralien, NFE, ADF, NDF, ADL, Stärke, Glukose, Fructose, Sucrose, NSP, Arabinoxylane,  $\beta$ -Glucane, Arabinose, Xylose, Mannose, Galactose, Glucose, Harnsäure, Tausend-Korn-Gewicht, Fallzahl, Extraktviscoelastizität. Die Beschreibung der vorgenommenen Analysen durch die Universität Hohenheim sind der Veröffentlichung von RODEHUTSCORD et al. (2016) zu entnehmen.

### **3.3.1. Rohprotein**

Der Rohproteingehalt wurde nach dem Verfahren von Kjeldahl ermittelt (Verfahrensnummer - 4.1.1.-). Das Probenmaterial wird dabei zunächst mit Schwefelsäure im Aufschlussblock erhitzt, dadurch aufgeschlossen und anschließend mit Natronlauge neutralisiert. Es folgt die Überführung in den Kjeltec, in dem das freigesetzte Ammoniak mittels Destillation in eine Säurevorlage eingeleitet wird. Der entstehende Überschuss wird mit Natronlauge titriert und über die verbrauchte Menge kann der Gehalt an Stickstoff ermittelt werden. Der Gehalt an Rohprotein errechnet sich durch Multiplikation des Stickstoffgehaltes mit dem Faktor 6,25.

### **3.3.2. Rohfett**

Das Probenmaterial wird zunächst durch Kochen in Salzsäure aufgeschlossen und das enthaltene Rohfett anschließend mit Petrolether in der Soxhlet-Apparatur extrahiert (-5.1.1 Verfahren A-). Das gesammelte Material wird getrocknet und danach zurückgewogen.

### **3.3.3. Rohfaser**

Um das Material aufzuschließen wird die Probe zunächst in Schwefelsäure und anschließend in Kalilauge gekocht (-6.1.1.-). Dabei lösen sich sowohl die sauren als auch die basischen Bestandteile des Materials und die Rohfaser verbleibt als Rest. Dieser wird nach dem Trocknen und Wiegen im Muffelofen verascht. Nach erneutem Wiegen kann durch Berechnung der Differenz zwischen dem aufgeschlossenen Material und dem Rest aus der Veraschung der Rohfasergehalt ermittelt werden.

### **3.3.4. Titandioxid**

Die Analyse des als Marker eingesetzten Titanoxids entsprach der von BOGHUN et al. (2009) beschriebenen Vorgehensweise. Die Probe wird zunächst mit Salpeter- und Schwefelsäure unter Kochen aufgeschlossen. Anschließend wird die Probe nach Abkühlung mehrmals mit destilliertem Wasser gespült und gefiltert. Zur Messung wurde ein ICP-OES genutzt, welches die zu messende Substanz zur optischen Emission anregt. Zur Kalibrierung werden Standardlösungen verwendet. Die Messung der Emissionsintensität erfolgt bei 336 – 338,4 nm.

### **3.3.5. Aminosäuren**

Das Probenmaterial wird zunächst 24 Stunden mit Hilfe einer Oxidationslösung im Eisbad zur Oxidation gebracht (-4.11.1.-). Diese wird mit Natriumdisulfid abgebrochen, um anschließend mit einer Hydrolyselösung versetzt zu werden. Die Proben werden für weitere 24 Stunden bei 110°C in den Trockenschrank gestellt. Nach der Abkühlung im Eisbad wird Natronlauge

zugegeben. Die Probenlösung wird in einen Maßkolben mit 2 ml internen Standard und Pufferlösung überführt und anschließend abfiltriert. Nach einstellen des pH-Wertes auf 2,2 werden ca. 1,5 ml der Probenlösung in ein Vial überführt und in den Aminosäuren-Analysator (Biochrom 30, Cambridge, England) zur chromatographischen Trennung und photometrischen Bestimmung verbracht. Die Extinktionsmessung der Aminosäuren erfolgt bei 570 nm, die des Prolins bei 440 nm.

Die Aminosäure Tryptophan wird separat bestimmt. Das Probenmaterial wird dazu in einer Weithalsflasche eingewogen und mit Bariumhydroxid und destilliertem Wasser vermengt. Die Hydrolyse erfolgt über 4 Stunden bei 110°C und 0,4 bar im Autoklaven. Der Probenlösung werden 2 ml interner Standard und destilliertes Wasser zugegeben und es erfolgt die Abkühlung im Eisbad. Anschließend werden 5 ml Phosphorsäure und 7,5 ml HCl zugegeben und mit destilliertem Wasser verdünnt. Die Probenlösung wird abfiltriert und auf einen pH-Wert von 3,0 eingestellt. Mit 2 ml Methanolgemisch werden danach 0,5 ml der Probe verdünnt und durch einen 0,45 µm Membranfilter in ein Vial überführt. Die Bestimmung des Tryptophangehaltes wird mittels HPLC durchgeführt.

### **3.3.6. Stärke**

Die Bestimmung des Stärkegehaltes wurde durch die CBA Böhlen (Böhlen, Deutschland) enzymatisch durchgeführt. In Anlehnung an die VDLUFA 7.2.5 Amyloglucosidase-Methode wird zunächst durch Extraktion mit 40 %igem Ethanol der in der Probe vorhandenen Zucker entfernt. Die im Extraktionsrückstand enthaltene Stärke wird mittels Salzsäure aufgeschlossen und durch Amyloglucosidase quantitativ in Glucose überführt. Die erhaltene Glucose wird bei pH 7,6 mit den Enzymen Hexokinase (HK) und Glucose-6-phosphat-Dehydrogenase (G6P-DH) photometrisch bestimmt.

### **3.3.7. Enzymaktivität**

Die Bestimmung der Enzymaktivität wurde durch das Enzyme Services & Consultancy, Innovation & Technology Centre (Ystrad, UK) durchgeführt. Die Xylanaseaktivität wird mit Hilfe von Xylazym AXTabletten (Megazyme T-XAX200), die als Substrat dienen, bestimmt. Die Methode basiert auf der Bestimmung von wasserlöslichen, gefärbten Fragmenten, die frei werden, wenn die Xylanase mit dem Substrat über eine bestimmte Zeit bei 50°C reagiert. Die dabei entstehende blaue Farbe wird bei 590 nm absorbiert. Die Aktivität der Probe wird durch einen Vergleich der Absorptionswerte mit einer Standardkurve des geprüften Enzyms, welche aus einer Verdünnungsreihe mit bekannter Aktivität hervorgeht, berechnet.

### **3.3.8. Nasse Siebanalyse**

Die Futtermischungen des achten Versuchs wurden zur Bestimmung der Partikelgröße einer nassen Siebanalyse, nach dem Verfahren wie es in den Untersuchungen von SANDER et al. (2012) beschrieben wurde, unterzogen. Durchgeführt wurde diese am Institut für Tierernährung der Tierärztlichen Hochschule Hannover.

Dazu werden 50 g Material in ein Becherglas gegeben und mit 1000 ml Wasser (ca. 30 °C) für eine Stunde inkubiert. Anschließend wird das Material auf einen, zuvor im Trockenschrank bei 103 °C auf Gewichtskonstanz gebrachten, in Exsikkatoren abgekühlten und anschließend gewogenen Siebturm, bestehend aus acht Sieben unterschiedlichen Rastermasses (0,2 mm, 0,4 mm, 0,56 mm, 0,8 mm, 1,0 mm, 1,4 mm, 2,0 mm, 3,15 mm, Fa. Retsch GmbH 42781 Haan Typ S-S, Fa. Retsch GmbH 42781 Haan), gegeben. Der Siebturm wird auf einen Auffangboden mit Auslauf gestellt und anschließend die Probe mit 10 l kaltem, destillierten Wasser durchgespült, wobei auf eine gleichmäßige Verteilung des Wassers über die Siebfläche geachtet werden muss. Nach Trocknung über Nacht im Trockenschrank bei 103 °C wird der Siebturm in den Exsikkator gestellt und ausgewogen. Die Berechnung der prozentualen Anteile der einzelnen Siebfraktionen wird unter Berücksichtigung des Trockensubstanzgehaltes durchgeführt.

### **3.4. Statistische Auswertung**

Folgende Parameter wurden in allen Versuchen erfasst: Lebendmasse beim Einstellen, am Tag der Futterumstellung und der Schlachtung und die Futteraufnahme während der Starterphase, während des Versuchs und in den letzten 24 Stunden vor der Schlachtung. Alle Parameter durchliefen mit Hilfe des Programms STATISTICA für Windows (Version 10) eine einfaktorische Varianzanalyse, woraufhin sich ein Mittelwertsvergleich mittels Tukey-Test (bzw. HSD-Test bei unbalancierten Daten) bei einem Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  anschloss.

#### **3.4.1. Berechnungen**

Die pc Verdaulichkeit (VQ) der Aminosäuren (AS) und des Rohproteins wurde aus dem Gehalt an Titanoxid und der Aminosäuren im Futter und dem Chymus mit folgender Formel (2) berechnet. Die Berechnung erfolgte auf Basis der Abteile.

## Material und Methoden

Formel (2):

$$pc \text{ VQ (\%)} = 100 - [100 \times (\text{TiO}_2_{\text{Fu}} \times \text{AS}_{\text{Chym}}) / (\text{TiO}_2_{\text{Chym}} \times \text{AS}_{\text{Fu}})]$$

Dabei ist:

$\text{TiO}_2_{\text{Fu}}$  = Titanoxidkonzentration im Futter (g/kg)

$\text{AS}_{\text{Chym}}$  = Aminosäurekonzentration im Chymus (g/kg)

$\text{TiO}_2_{\text{Chym}}$  = Titandioxidkonzentration im Chymus (g/kg)

$\text{AS}_{\text{Fu}}$  = Aminosäurekonzentration im Futter (g/kg)

In Versuch 5 wurden die so ermittelten Verdaulichkeitsquotienten (pcVQ) in einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test auf signifikante Mittelwertsdifferenzen geprüft ( $p < 0,05$ ).

Auch die Verdaulichkeit der Stärke, welche in den Versuchen 1 – 4 ermittelt wurde, durchlief auf diese Weise eine statistische Untersuchung.

In allen anderen Versuchen wurde mit einem regressionsanalytischen Ansatz gearbeitet. Aus der pc Verdaulichkeit und der täglich aufgenommenen Aminosäuremenge wurde die pc verdaute Menge der jeweiligen Aminosäuren für jedes Abteil berechnet. Die Beziehung zwischen der pc verdauten und der aufgenommenen Menge an Aminosäure wurde anschließend mittels linearer Regression beschrieben, wobei die Steigung der Regressionsgeraden unmittelbar als pc Verdaulichkeit der Aminosäure interpretiert werden kann (RODEHUTSCORD et al., 2004). Durch das Intercept (Schnittpunkt mit der y-Achse) werden die endogenen Verluste berücksichtigt (RODEHUTSCORD et al., 2004).

Die lineare Regression wurde mit Hilfe des Programms GraphPadPrism 5.0 (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA) erstellt. Die Prüfung auf signifikante Unterschiede zwischen den Anstiegen der Geraden wurde mit demselben Programm mittels F-Test durchgeführt.

## 4. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Analysen der Inhaltsstoffe der Futtermischungen sind in Tabelle (24) und (25) im Anhang aufgeführt. Ebenso sind dort in Tabelle (26) die Daten zur Enzymaktivität der Versuche 1 – 4, 5 und 7 dargestellt.

### 4.1. Versuch 1 – 4

#### Zum Einfluss der Sorte und eines Enzymzusatzes auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren und der Stärke aus Weizen

##### 4.1.1. Leistungsdaten

In Tabelle (6) und (7) sind die Einstallgewichte, Lebendmasse zu Versuchsbeginn und Versuchsende, die Zunahmen im Versuchszeitraum und die Futteraufnahme pro Tag aus allen vier Versuchen dargestellt.

Tabelle 6: Lebendmassenentwicklung und Futteraufnahme des 1. und 2. Versuchs (Mittel, s)

Variante	Lebendmasse g				Zunahme g	Futteraufnahme						
	Weizensorte	Enzym	Einstallung	Beginn		Ende	g Tier/Tag					
Versuch 1												
I	30% KWS Erasmus	-	44	1	526	25	851	59	293 <sup>ab</sup>	35	116	18
II	70% KWS Erasmus	-	44	1	523	14	887	13	326 <sup>b</sup>	17	122	11
III	30% Akteur	-	43	1	519	22	821	32	283 <sup>ab</sup>	14	114	9
IV	70% Akteur	-	43	1	520	25	870	39	320 <sup>b</sup>	18	116	12
V	30% Adler	-	43	1	515	20	845	40	286 <sup>ab</sup>	25	116	18
VI	70% Adler	-	43	1	514	40	862	65	314 <sup>ab</sup>	31	117	14
VII	30% KWS Erasmus	+	43	1	517	29	823	45	271 <sup>a</sup>	20	113	14
VIII	70% KWS Erasmus	+	44	2	523	21	888	31	328 <sup>b</sup>	21	121	14
IX	30% Akteur	+	43	1	516	29	824	35	273 <sup>a</sup>	10	112	10
X	70% Akteur	+	44	1	527	24	860	29	314 <sup>ab</sup>	17	116	12
XI	30% Adler	+	43	1	525	19	809	52	272 <sup>a</sup>	34	112	18
XII	70% Adler	+	43	1	517	18	888	27	323 <sup>b</sup>	21	122	13
Versuch 2												
I	30% Tommi	-	41	1	415	16	743	18	328 <sup>ab</sup>	7	103	11
II	70% Tommi	-	40	1	408	19	764	39	356 <sup>b</sup>	22	103	17
III	30% Frument	-	41	1	413	11	728	20	315 <sup>a</sup>	14	104	15
IV	70% Frument	-	40	1	409	15	762	21	353 <sup>bc</sup>	14	107	14
V	30% Event	-	40	1	412	26	733	52	320 <sup>ac</sup>	27	104	19
VI	70% Event	-	41	1	413	19	773	35	361 <sup>b</sup>	17	108	17
VII	30% Tommi	+	40	1	408	15	726	42	318 <sup>ac</sup>	29	105	17
VIII	70% Tommi	+	40	1	404	13	757	31	353 <sup>b</sup>	22	108	14
IX	30% Frument	+	40	1	407	17	720	26	313 <sup>a</sup>	12	106	10
X	70% Frument	+	41	1	404	12	759	26	355 <sup>b</sup>	18	109	15
XI	30% Event	+	41	1	413	13	735	28	322 <sup>ac</sup>	17	109	15
XII	70% Event	+	40	1	421	16	783	30	362 <sup>b</sup>	16	110	15

a,b,c: kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb eines Versuchsdurchgang bei  $p < 0,05$

## Ergebnisse

In allen Versuchen unterschieden sich Einstallungsgewicht (40 – 43 g), die Lebendmassen zu Versuchsbeginn (409 – 520 g) und –ende (669 – 901 g) und die Futteraufnahme (105 – 116 g) nicht signifikant voneinander. Es zeichnete sich jedoch eine Tendenz zur höheren Futteraufnahme bei den Gruppen ab, welche das Futter mit 70 % Weizen bekamen. Dies spiegelte sich in den tendenziell höheren Werten der Lebendmasse zu Versuchsende wider. Teilweise waren die Unterschiede bei den Zunahmen signifikant, wobei die höheren Zunahmen bei den Versuchsgruppen, deren Ration 70 % Weizen enthielt, festgestellt wurden. Ein Einfluss des Enzymzusatzes (jeweils Variante VII – XII) auf die Leistung der Tiere wurde nicht nachgewiesen.

Tabelle 7: Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme des 3. und 4. Versuchs (Mittel, *s*)

Variante	Lebendmasse g						Zunahme g	Futteraufnahme g Tier/Tag				
	Weizensorte	Enzym	Einstellung	Beginn	Ende							
Versuch 3												
I	30% JB Asano	-	40	1	460	24	880	48	421 <sup>ab</sup>	29	108	14
II	70% JB Asano	-	41	1	460	16	919	34	459 <sup>bc</sup>	20	109	22
III	30% Skalmeye	-	41	1	463	18	875	23	412 <sup>a</sup>	8	112	14
IV	70% Skalmeye	-	41	1	468	10	930	26	462 <sup>bc</sup>	23	111	17
V	30% Brilliant	-	40	1	461	10	874	26	413 <sup>a</sup>	19	103	20
VI	70% Brilliant	-	40	1	460	11	914	27	454 <sup>abc</sup>	22	119	14
VII	30% JB Asano	+	40	1	459	13	878	27	419 <sup>ab</sup>	18	111	12
VIII	70% JB Asano	+	41	2	461	8	923	23	462 <sup>bc</sup>	17	118	11
IX	30% Skalmeye	+	41	1	476	21	888	46	411 <sup>a</sup>	31	113	10
X	70% Skalmeye	+	40	1	448	23	897	52	449 <sup>abc</sup>	34	114	13
XI	30% Brilliant	+	40	1	470	12	892	37	423 <sup>ab</sup>	27	113	18
XII	70% Brilliant	+	40	1	474	14	943	22	469 <sup>c</sup>	14	121	13
Versuch 4												
I	30% Pamier	-	44	1	407	24	662	35	254 <sup>ab</sup>	17	102	11
II	70% Pamier	-	43	1	401	27	662	28	262 <sup>ab</sup>	8	102	11
III	30% Tabasco	-	44	1	417	28	664	34	247 <sup>ab</sup>	11	102	12
IV	70% Tabasco	-	44	1	413	25	680	37	268 <sup>b</sup>	13	103	12
V	30% Hermann	-	43	1	410	15	668	16	258 <sup>ab</sup>	9	106	11
VI	70% Hermann	-	44	1	415	28	688	43	273 <sup>b</sup>	18	106	8
VII	30% Pamier	+	43	1	409	29	642	50	233 <sup>a</sup>	25	100	6
VIII	70% Pamier	+	43	1	406	23	673	35	267 <sup>b</sup>	20	108	12
IX	30% Tabasco	+	43	1	415	21	671	26	255 <sup>ab</sup>	12	110	14
X	70% Tabasco	+	43	1	403	25	675	36	272 <sup>b</sup>	14	109	10
XI	30% Hermann	+	43	1	407	21	657	32	250 <sup>ab</sup>	20	105	16
XII	70% Hermann	+	44	1	407	22	681	31	274 <sup>b</sup>	13	110	11

a,b,c: kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb eines Versuchsdurchgang bei  $p < 0,05$

### **4.1.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren**

In Tabelle (8) sind die Verdaulichkeit des Rohproteins und der essentiellen Aminosäuren und Cystin aus den Versuchen 1 – 4 aufgeführt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde auf die Angaben weiterer Parameter verzichtet. Die Angaben zur Verdaulichkeit aller Aminosäuren, einschließlich des Bestimmtheitsmaßes, sind in den Tabellen im Anhang (ab Seite 88) zu finden.

Die Sorten KWS Erasmus, Akteur und Adler, welche im ersten Versuch eingesetzt wurden, zeigten alle eine ähnlich hohe Verdaulichkeit des Rohproteins von 86 bis 88 % ohne Enzymzusatz. Auch die Aminosäureverdaulichkeit lag auf einem hohen Niveau und betrug im Mittel 86 – 89 %. Die niedrigste Verdaulichkeit zeigte bei allen drei Sorten die Aminosäure Tryptophan mit 76 – 79 %, die höchste Methionin und Lysin.

Durch den Enzymzusatz wurde bei allen Sorten eine tendenzielle Verbesserung der Verdaulichkeit um 1 bis 10 % erreicht, welche sich aber statistisch nicht absichern lies.

Im zweiten Versuch wurden die Sorten Tommi, Frument und Event geprüft. Mit 90 % wies die Sorte Frument die höchste Rohproteinverdaulichkeit auf, gefolgt von Tommi (88 %) und Event (84 %). Die Aminosäureverdaulichkeit lag im Mittel zwischen 85 und 90 % ohne Enzymzusatz. Auch in diesem Versuch war die Verdaulichkeit von Tryptophan am geringsten (80 – 86 %) und die von Methionin am höchsten (91 – 94 %). Bei der Sorte Tommi waren Arginin, Lysin und Valin ähnlich hoch verdaulich.

Durch den Enzymzusatz zeigte sich bei den Sorten Tommi und Frument eine tendenzielle Verschlechterung der Verdaulichkeit, sowohl beim Rohprotein als auch bei den Aminosäuren um 1 – 8 %. Bei der Sorte Event blieb die Verdaulichkeit der Aminosäuren nahezu unverändert, die des Rohproteins erhöhte sich um 5 %.

Der dritte Versuch wurde zur Prüfung der Sorten JB Asano, Skalmeje und Brilliant durchgeführt. Die Rohproteinverdaulichkeit war mit 88 % (JB Asano), 90 % (Skalmeje) und 91 % (Brilliant) ähnlich hoch. Bei allen drei Sorten konnte eine hohe Verdaulichkeit der Aminosäuren von im Mittel 89 – 92 % ohne Enzymzusatz festgestellt werden. Die Aminosäuren Cystin und Tryptophan wiesen bei allen drei Sorten die geringste Verdaulichkeit von 82 % bzw. 86 % auf, die höchste dagegen Methionin (94 – 96 %).

Der Enzymzusatz führte zu keiner Änderung der Rohproteinverdaulichkeit. Bei den Sorten JB Asano und Brilliant ergab sich einer mittleren Aminosäureverdaulichkeit von 88 und 91 %, bei Skalmeje ein Wert von 90 % und veränderte die Verdaulichkeit damit nur geringfügig.

## Ergebnisse

Die Sorten Hermann, Pamier und Tabasco wurden im vierten Versuch untersucht. Bei den Sorten Hermann und Pamier waren die, im Vergleich zu den anderen Sorten, geringen Werte der Rohproteinverdaulichkeit von 76 % bzw. 74 % auffällig. Die Aminosäureverdaulichkeit lag im Mittel bei 85 – 90 % und zeigte wiederum die geringsten Werte bei Tryptophan und Cystin (78 – 84 %) und die höchsten Werte bei Methionin (90 – 94 %).

Durch den Zusatz des Enzyms wurde bei den Sorten Hermann und Pamier die Verdaulichkeit des Rohproteins deutlich, wenn auch nicht signifikant, um 8 – 9 Prozentpunkte gesteigert. Auch die Aminosäureverdaulichkeit nahm bei den beiden Sorten tendenziell zu um bis zu 6 %. Bei der Sorte Tabasco konnte kein bzw. ein leicht negativer Effekt (0 – 6 %) auf die Verdaulichkeit festgestellt werden.

Tabelle 8: Pc-Verdaulichkeit des Rohproteins, der essentiellen Aminosäuren und Cystin aus den Versuchen 1 – 4 in %

Versuch	1		2		3		4					
Sorte	KWS Erasmus	Akteur	Adler	Tommi	Frument	Event	JB Asano	Skalmeje	Brilliant	Pamier	Tabasco	Hermann
Enzym	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +
Rohprotein	86 91	87 90	88 92	88 87	90 87	84 89	88 89	90 89	91 90	74 82	82 81	76 85
Arginin	88 93	87 91	91 93	93 89	91 88	88 90	90 91	93 92	92 92	89 91	92 92	89 94
Cystin	84 89	85 88	85 90	86 86	88 83	84 86	82 81	86 82	86 84	78 82	84 83	82 86
Isoleucin	89 92	87 90	90 93	90 86	90 86	85 87	91 90	94 91	94 92	87 90	91 90	88 93
Leucin	85 92	88 92	89 92	88 84	88 82	85 85	90 90	93 93	93 93	86 90	91 89	87 92
Lysin	91 93	88 92	95 94	92 87	92 86	87 89	91 90	96 93	94 94	88 90	93 89	88 94
Methionin	92 93	88 92	92 94	92 90	94 90	91 92	94 91	96 94	95 95	90 92	94 92	91 94
Phenylalanin	86 92	89 91	89 92	89 86	89 84	86 86	90 90	92 91	93 92	88 91	92 90	89 93
⊗ Threonin	85 90	84 89	86 89	88 81	87 79	82 81	86 85	91 87	89 89	81 84	88 82	84 88
Tryptophan	76 86	79 85	78 86	82 77	86 79	80 81	82 83	86 84	86 85	78 80	84 80	82 84
Valin	89 92	86 90	90 92	92 86	90 85	85 86	90 89	94 91	93 92	86 88	90 89	87 92
Mittel	87 91	86 90	89 92	89 85	90 84	85 86	89 88	92 90	92 91	85 88	90 88	87 91

## Ergebnisse

Da durch den Einsatz des Enzyms keine signifikanten Unterschiede ermittelt wurden, sind in der Tabelle (9) aus Übersichtsgründen nochmals die Angaben zur Verdaulichkeit der Sorten aufgeführt, wenn kein Enzym zugesetzt wurde. Ergänzt werden diese Angaben mit den mittleren Werten zur Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren bei einer Bewertung über alle Sorten.

Zunächst fällt die geringe Rohproteinverdaulichkeit der Sorten Pamier (74 %) und Hermann (76 %) auf. Diese erwiesen sich als signifikant niedriger als die Werte der Sorten Akteur (87 %), Adler (88 %), Tommi (88 %), Frument (90 %), JB Asano (88 %), Skalmeje (90 %) und Brilliant (91 %) (Abb. 3). Die Aminosäureverdaulichkeit lag im Mittel der essentiellen Aminosäuren zwischen 85 und 92 %. Die geringsten Werte von 85 % wurden bei den Sorten Pamier und Event ermittelt, die höchsten bei den Sorten Skalmeje und Brilliant (92 %). Bei der Sorte Event wurde eine signifikant niedrigere Verdaulichkeit der essentiellen Aminosäuren (außer Cystin, Methionin und Tryptophan) gegenüber der Sorte Brilliant festgestellt, wobei sich Isoleucin und Phenylalanin auch als signifikant niedriger gegenüber den Werten der Sorte Tabasco herausstellte. Weiterhin zeigte die Sorte Frument eine signifikant höhere Cystinverdaulichkeit als die Sorte Pamier.

Der Vergleich der mittleren Werte zur Verdaulichkeit der einzelnen Aminosäuren über alle Sorten zeigt, dass Methionin mit 92 % am höchsten und Tryptophan mit 82 % am geringsten verdaulich ist.

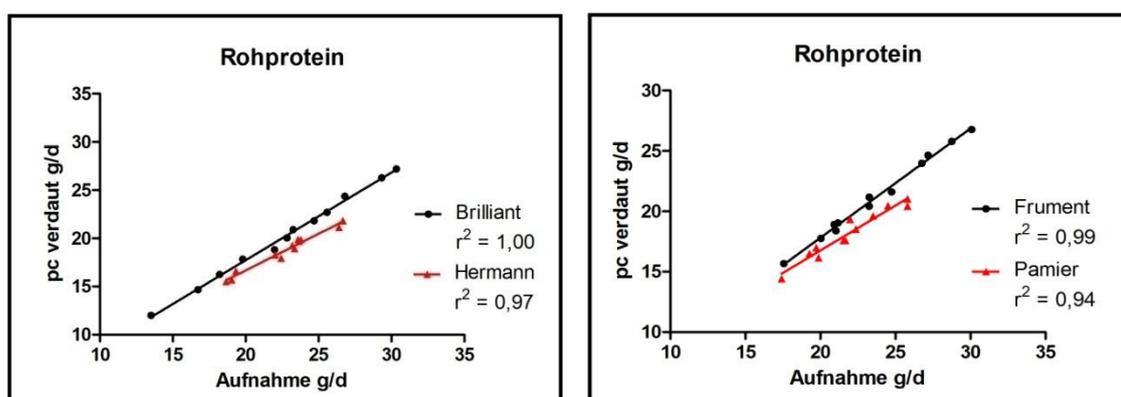


Abbildung 3: Beziehung zwischen aufgenommener und pc verdauter Rohproteinmenge (g/d) der Weizensorten Brilliant und Hermann sowie Frument und Pamier.

Tabelle 9: Vergleich der pc- Verdaulichkeit (%) des Rohproteins, der essentiellen Aminosäuren und Cystin zwischen den Sorten aus den Versuchen 1 – 4 ohne Enzymzusatz

Versuch	1			2			3			4			Mittel
Sorte	KWS Erasmus	Akteur	Adler	Tommi	Frument	Event	JB Asano	Skalmeje	Brilliant	Pamier	Tabasco	Hermann	
Rohprotein	<b>86</b> <sup>ab</sup>	<b>87</b> <sup>b</sup>	<b>88</b> <sup>b</sup>	<b>88</b> <sup>b</sup>	<b>90</b> <sup>b</sup>	<b>84</b> <sup>ab</sup>	<b>88</b> <sup>b</sup>	<b>90</b> <sup>b</sup>	<b>91</b> <sup>b</sup>	<b>74</b> <sup>a</sup>	<b>82</b> <sup>ab</sup>	<b>76</b> <sup>a</sup>	85
Arginin	<b>88</b> <sup>ab</sup>	<b>87</b> <sup>ab</sup>	<b>91</b> <sup>ab</sup>	<b>93</b> <sup>ab</sup>	<b>91</b> <sup>ab</sup>	<b>88</b> <sup>a</sup>	<b>90</b> <sup>ab</sup>	<b>93</b> <sup>ab</sup>	<b>92</b> <sup>b</sup>	<b>89</b> <sup>ab</sup>	<b>92</b> <sup>ab</sup>	<b>89</b> <sup>ab</sup>	90
Cystin	<b>84</b> <sup>ab</sup>	<b>85</b> <sup>ab</sup>	<b>85</b> <sup>ab</sup>	<b>86</b> <sup>ab</sup>	<b>88</b> <sup>b</sup>	<b>84</b> <sup>ab</sup>	<b>82</b> <sup>ab</sup>	<b>86</b> <sup>ab</sup>	<b>86</b> <sup>ab</sup>	<b>78</b> <sup>a</sup>	<b>84</b> <sup>ab</sup>	<b>82</b> <sup>ab</sup>	84
Isoleucin	<b>89</b> <sup>ab</sup>	<b>87</b> <sup>ab</sup>	<b>90</b> <sup>ab</sup>	<b>90</b> <sup>ab</sup>	<b>90</b> <sup>ab</sup>	<b>85</b> <sup>a</sup>	<b>91</b> <sup>ab</sup>	<b>94</b> <sup>ab</sup>	<b>94</b> <sup>b</sup>	<b>87</b> <sup>ab</sup>	<b>91</b> <sup>b</sup>	<b>88</b> <sup>ab</sup>	90
Leucin	<b>85</b> <sup>ab</sup>	<b>88</b> <sup>ab</sup>	<b>89</b> <sup>ab</sup>	<b>88</b> <sup>ab</sup>	<b>88</b> <sup>ab</sup>	<b>85</b> <sup>a</sup>	<b>90</b> <sup>ab</sup>	<b>93</b> <sup>ab</sup>	<b>93</b> <sup>b</sup>	<b>86</b> <sup>ab</sup>	<b>91</b> <sup>ab</sup>	<b>87</b> <sup>ab</sup>	89
Lysin	<b>91</b> <sup>ab</sup>	<b>88</b> <sup>ab</sup>	<b>95</b> <sup>ab</sup>	<b>92</b> <sup>ab</sup>	<b>92</b> <sup>ab</sup>	<b>87</b> <sup>a</sup>	<b>91</b> <sup>ab</sup>	<b>96</b> <sup>ab</sup>	<b>94</b> <sup>b</sup>	<b>88</b> <sup>ab</sup>	<b>93</b> <sup>ab</sup>	<b>88</b> <sup>ab</sup>	91
Methionin	<b>92</b>	<b>88</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>94</b>	<b>91</b>	<b>94</b>	<b>96</b>	<b>95</b>	<b>90</b>	<b>94</b>	<b>91</b>	92
Phenylalanin	<b>86</b> <sup>ab</sup>	<b>89</b> <sup>ab</sup>	<b>89</b> <sup>ab</sup>	<b>89</b> <sup>ab</sup>	<b>89</b> <sup>ab</sup>	<b>86</b> <sup>a</sup>	<b>90</b> <sup>ab</sup>	<b>92</b> <sup>ab</sup>	<b>93</b> <sup>b</sup>	<b>88</b> <sup>ab</sup>	<b>92</b> <sup>b</sup>	<b>89</b> <sup>ab</sup>	89
Threonin	<b>85</b> <sup>ab</sup>	<b>84</b> <sup>ab</sup>	<b>86</b> <sup>ab</sup>	<b>88</b> <sup>ab</sup>	<b>87</b> <sup>ab</sup>	<b>82</b> <sup>a</sup>	<b>86</b> <sup>ab</sup>	<b>91</b> <sup>ab</sup>	<b>89</b> <sup>b</sup>	<b>81</b> <sup>ab</sup>	<b>88</b> <sup>ab</sup>	<b>84</b> <sup>ab</sup>	86
Tryptophan	<b>76</b>	<b>79</b>	<b>78</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>80</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	82
Valin	<b>89</b> <sup>ab</sup>	<b>86</b> <sup>ab</sup>	<b>90</b> <sup>ab</sup>	<b>92</b> <sup>ab</sup>	<b>90</b> <sup>ab</sup>	<b>85</b> <sup>a</sup>	<b>90</b> <sup>ab</sup>	<b>94</b> <sup>ab</sup>	<b>93</b> <sup>b</sup>	<b>86</b> <sup>ab</sup>	<b>90</b> <sup>ab</sup>	<b>87</b> <sup>ab</sup>	89
Mittel	87	86	89	89	90	85	89	92	92	85	90	87	

a,b kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten bei  $p < 0,05$

### 4.1.3. Verdaulichkeit der Stärke

In Tabelle (10) sind die Werte der Stärkeverdaulichkeit der geprüften Sorten aufgeführt, welche aus den Werten der 70 %igen Mischung ermittelt wurden und als Verdaulichkeit der Sorte interpretiert werden.

Die geringste Verdaulichkeit wurde bei der Sorte JB Asano (89 %) festgestellt. Sie unterschied sich damit signifikant von den Werten der Sorten Akteur (96 %), Frument (96 %), Event (96 %), Pamier (95 %), Tabasco (97 %) und Hermann (97 %). Eine ebenfalls signifikant niedrigere Verdaulichkeit der Stärke wies die Sorte Brilliant (90 %) gegenüber den Sorten Frument, Tabasco und Hermann (97 %) auf.

Der Einsatz des Enzyms führte zu einem tendenziellen Anstieg der Stärkeverdaulichkeit, der sich aber nur bei der Sorte Tommi (95 % vs. 98 %) statistisch absichern lies.

Tabelle 10: P<sub>c</sub>-Verdaulichkeit der Stärke (% , SD) der Weizensorten aus den Versuchen 1 – 4

Sorte	ohne Enzym		mit Enzym		<i>p</i>
KWS Erasmus	<b>93<sup>ab</sup></b>	±3,8	<b>97</b>	±2,1	0,108
Akteur	<b>96<sup>bc</sup></b>	±1,7	<b>97</b>	±2,3	0,999
Adler	<b>94<sup>ab</sup></b>	±3,4	<b>95</b>	±3,1	1,000
Tommi	<b>95<sup>abA</sup></b>	±2,0	<b>98<sup>B</sup></b>	±1,2	0,014
Frument	<b>96<sup>b</sup></b>	±0,9	<b>96</b>	±2,2	1,000
Event	<b>96<sup>bc</sup></b>	±1,5	<b>97</b>	±0,9	0,990
JBAsano	<b>89<sup>a</sup></b>	±6,8	<b>94</b>	±4,0	0,136
Skalmeje	<b>92<sup>ab</sup></b>	±2,7	<b>95</b>	±3,2	0,990
Brilliant	<b>90<sup>ac</sup></b>	±3,9	<b>94</b>	±3,1	0,504
Pamier	<b>95<sup>bc</sup></b>	±2,2	<b>97</b>	±0,9	0,415
Tabasco	<b>97<sup>b</sup></b>	±1,0	<b>97</b>	±1,8	0,999
Hermann	<b>97<sup>b</sup></b>	±1,4	<b>98</b>	±0,7	0,999
Mittel	<b>94</b>		<b>96</b>		

a, b: kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten bei  $p < 0,05$

A, B: kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Sorte bei  $p < 0,05$

## 4.2. Versuch 5

### Zum Einfluss von Alter, Dünndarmabschnitt und Enzymzusatz auf die praecaecale Verdaulichkeit von Aminosäuren weizenbetonter Rationen

#### 4.2.1. Leistungsdaten

In Tabelle (11) sind die Leistungsdaten des fünften Versuchs zusammengefasst.

Diese entsprechen den Vorgaben des Züchters (AVIAGEN) und unterscheiden sich nicht zwischen den Fütterungsgruppen.

Tabelle 11: Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme des 5. Versuchs (Mittel, *s*)

Variante		Lebendmasse g		Zunahme	Futteraufnahme
Alter	Enzym	Versuchsbeginn	Versuchsende	g	g/d
20 Tage	-	552 11	804 37	252 30	93 13
20 Tage	+	557 18	803 58	245 50	92 24
35 Tage	-	1486 18	2061 60	576 54	186 17
35 Tage	+	1484 38	2074 48	590 50	186 22

#### 4.2.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren

In Tabelle (12) ist die Verdaulichkeit des Rohproteins, der essentiellen Aminosäuren (außer Tryptophan) und Cystin aus den drei Teilabschnitten des entnommenen Darmabschnitts, bei Fütterung mit und ohne Enzym für beide Altersstufen aufgeführt. Betrachtet man zunächst die Variante ohne Enzym bei den 20 Tage alten Broilern, so ist sowohl beim Rohprotein als auch bei den Aminosäuren eine Steigerung der Verdaulichkeit vom proximalen Abschnitt über den medialen (4 bis 7 %) zum terminalen Abschnitt (1 bis 3 %) zu erkennen. Diese Zunahme der Verdaulichkeit ließ sich vom proximalen zum medialen Abschnitt auch für alle Aminosäuren statistisch absichern. Zwischen den medialen und terminalen Abschnitten wurden keine signifikanten Unterschiede mehr festgestellt. Der Vergleich zwischen proximal und terminal (6 bis 9 %) ist allerdings bei allen geprüften Parametern signifikant.

Bei der Fütterungsvariante mit Enzym wurde ebenfalls ein Anstieg der Verdaulichkeit über die drei Darmabschnitte beobachtet. Lediglich bei den Aminosäuren Cystin und Threonin war erst der Unterschied zwischen dem proximalen und terminalen Abschnitten signifikant, bei allen anderen Aminosäuren und dem Rohprotein wurde schon bei dem Vergleich von proximal zu medial (4 bis 6 %) ein signifikanter Effekt festgestellt, der sich aber von medial zu terminal (2

## Ergebnisse

bis 3 %) nicht mehr nachweisen ließ. Wiederum signifikant waren die Unterschiede der proximalen und terminalen Abschnitte (7 bis 9 %).

Die Ergebnisse bei den 20 Tage alten Tieren konnten ebenso bei den 35 Tage alten Broilern beobachtet werden. Auch hier war der Unterschied in der Variante ohne Enzym zwischen den proximalen und medialen Abschnitten für alle Aminosäuren und das Rohprotein signifikant (3 bis 5 %), der Anstieg der Verdaulichkeit zwischen medial und terminal (0 bis 2 %) hingegen nicht mehr, wobei sich die Werte von proximal zu terminal signifikant voneinander unterschieden (4 bis 7 %).

Bei der Fütterung mit Enzymzusatz wurde eine signifikante Steigerung der Verdaulichkeit vom proximalen zum medialen Abschnitt nur für das Rohprotein und die Aminosäuren Arginin, Cystin, Phenylalanin und Valin festgestellt. Zwischen proximal und terminal war der Verdaulichkeitsanstieg bei allen Aminosäuren signifikant (4 bis 6 %), lediglich für Methionin wurde kein Effekt des Abschnitts beobachtet.

Der Einfluss des Enzyms wurde zwischen den jeweils korrespondierenden Abschnitten überprüft. Sowohl bei den 20 Tage alten Tieren als auch bei den 35 Tage alten Tieren wurde kein Effekt des Enzyms auf die Verdaulichkeit der Aminosäuren oder des Rohproteins festgestellt. Die Unterschiede lagen zwischen 1 und 3 Prozentpunkten und erwiesen sich als nicht signifikant.

Tabelle 12: P<sub>c</sub>-Verdaulichkeit des Rohproteins, der essentiellen Aminosäuren und Cystin (in %, SD) in der Futtermischung in Abhängigkeit vom Darmabschnitt und Enzymzusatz bei 20 und 35 Tage alten Broilern

20 Tage		Variante						<i>p</i>								
Abschnitt	ohne Enzym			mit Enzym			Einfluss des Abschnitts						Einfluss des Enzyms			
	proximal	medial	terminal	proximal	medial	terminal	1 zu 2	1 zu 3	2 zu 3	4 zu 5	4 zu 6	5 zu 6	1 zu 4	2 zu 5	3 zu 6	
Rohprotein	<b>83<sup>a</sup></b> ±3,9	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,9	<b>89<sup>b</sup></b> ±3,9	<b>84<sup>a</sup></b> ±2,9	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,7	<b>91<sup>b</sup></b> ±1,2	0,019	<0,001	0,709	0,016	<0,001	0,568	0,969	0,957	0,890	
Arginin	<b>84<sup>a</sup></b> ±3,4	<b>89<sup>b</sup></b> ±1,7	<b>91<sup>b</sup></b> ±1,8	<b>86<sup>a</sup></b> ±2,7	<b>90<sup>b</sup></b> ±1,8	<b>93<sup>b</sup></b> ±1,3	0,006	<0,001	0,395	0,013	<0,001	0,235	0,634	0,811	0,623	
Cystin	<b>77<sup>a</sup></b> ±5,4	<b>83<sup>b</sup></b> ±3,1	<b>85<sup>b</sup></b> ±2,6	<b>80<sup>a</sup></b> ±4,2	<b>85<sup>a</sup></b> ±2,5	<b>87<sup>b</sup></b> ±1,2	0,048	0,002	0,838	0,166	0,004	0,647	0,615	0,912	0,757	
Isoleucin	<b>82<sup>a</sup></b> ±4,1	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>90<sup>b</sup></b> ±2,2	<b>84<sup>a</sup></b> ±3,3	<b>89<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>92<sup>b</sup></b> ±1,0	0,004	<0,001	0,439	0,011	<0,001	0,265	0,827	0,962	0,857	
Leucin	<b>81<sup>a</sup></b> ±4,4	<b>87<sup>b</sup></b> ±2,2	<b>89<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>83<sup>a</sup></b> ±3,6	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>91<sup>b</sup></b> ±1,7	0,008	<0,001	0,533	0,022	<0,001	0,434	0,791	0,941	0,888	
Lysin	<b>82<sup>a</sup></b> ±4,6	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>90<sup>b</sup></b> ±2,1	<b>84<sup>a</sup></b> ±3,2	<b>89<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>92<sup>b</sup></b> ±1,8	0,006	<0,001	0,619	0,024	<0,001	0,521	0,691	0,931	0,876	
Methionin	<b>86<sup>a</sup></b> ±3,7	<b>91<sup>b</sup></b> ±1,9	<b>92<sup>b</sup></b> ±1,7	<b>87<sup>a</sup></b> ±3,2	<b>92<sup>b</sup></b> ±1,9	<b>94<sup>b</sup></b> ±1,6	0,007	<0,001	0,850	0,022	0,001	0,734	0,830	0,971	0,918	
Phenylalanin	<b>81<sup>a</sup></b> ±4,4	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,2	<b>90<sup>b</sup></b> ±2,1	<b>83<sup>a</sup></b> ±4,1	<b>89<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>92<sup>b</sup></b> ±1,2	0,002	<0,001	0,494	0,007	<0,001	0,391	0,766	0,946	0,892	
Threonin	<b>78<sup>a</sup></b> ±4,5	<b>83<sup>b</sup></b> ±2,5	<b>85<sup>b</sup></b> ±2,6	<b>79<sup>a</sup></b> ±3,8	<b>84<sup>a</sup></b> ±2,6	<b>86<sup>b</sup></b> ±2,3	0,039	0,002	0,906	0,080	0,002	0,724	0,917	0,983	0,895	
Valin	<b>83<sup>a</sup></b> ±3,8	<b>87<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>90<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>84<sup>a</sup></b> ±3,0	<b>89<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>91<sup>b</sup></b> ±1,3	0,008	<0,001	0,545	0,020	<0,001	0,389	0,799	0,933	0,835	

35 Tage		Variante						<i>p</i>								
Abschnitt	ohne Enzym			mit Enzym			Einfluss des Abschnitts						Einfluss des Enzyms			
	proximal	medial	terminal	proximal	medial	terminal	1 zu 2	1 zu 3	2 zu 3	4 zu 5	4 zu 6	5 zu 6	1 zu 4	2 zu 5	3 zu 6	
Rohprotein	<b>83<sup>a</sup></b> ±2,3	<b>87<sup>b</sup></b> ±1,5	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,2	<b>84<sup>a</sup></b> ±2,2	<b>87<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,0	0,001	<0,001	0,899	0,046	0,002	0,887	0,795	1,000	1,000	
Arginin	<b>86<sup>a</sup></b> ±1,4	<b>90<sup>b</sup></b> ±1,0	<b>91<sup>b</sup></b> ±0,6	<b>87<sup>a</sup></b> ±1,2	<b>90<sup>b</sup></b> ±1,4	<b>92<sup>b</sup></b> ±1,1	<0,001	<0,001	0,454	<0,001	<0,001	0,107	0,288	0,968	0,602	
Cystin	<b>78<sup>a</sup></b> ±3,3	<b>83<sup>b</sup></b> ±1,8	<b>85<sup>b</sup></b> ±1,4	<b>81<sup>a</sup></b> ±3,2	<b>85<sup>b</sup></b> ±2,9	<b>86<sup>b</sup></b> ±3,2	0,012	<0,001	0,697	0,013	0,013	0,816	0,283	0,954	0,987	
Isoleucin	<b>83<sup>a</sup></b> ±2,3	<b>87<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,4	<b>84<sup>a</sup></b> ±2,4	<b>87<sup>ab</sup></b> ±2,5	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,1	0,002	<0,001	0,905	0,094	0,002	0,693	0,904	0,998	1,000	
Leucin	<b>81<sup>a</sup></b> ±2,6	<b>85<sup>b</sup></b> ±1,9	<b>87<sup>b</sup></b> ±1,4	<b>82<sup>a</sup></b> ±2,4	<b>86<sup>ab</sup></b> ±2,5	<b>87<sup>b</sup></b> ±2,1	0,001	<0,001	0,904	0,057	0,001	0,758	0,615	0,999	0,996	
Lysin	<b>83<sup>a</sup></b> ±2,8	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,9	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,5	<b>85<sup>a</sup></b> ±2,3	<b>88<sup>ab</sup></b> ±2,6	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,8	0,003	0,001	0,995	0,103	0,019	0,980	0,725	1,000	0,999	
Methionin	<b>87<sup>a</sup></b> ±1,8	<b>90<sup>b</sup></b> ±1,8	<b>91<sup>b</sup></b> ±1,2	<b>88</b> ±2,1	<b>90</b> ±2,3	<b>91</b> ±1,7	0,013	0,005	0,999	0,380	0,124	0,989	0,837	0,999	1,000	
Phenylalanin	<b>79<sup>a</sup></b> ±2,8	<b>84<sup>b</sup></b> ±1,5	<b>86<sup>b</sup></b> ±0,9	<b>81<sup>a</sup></b> ±2,4	<b>85<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>87<sup>b</sup></b> ±2,0	<0,001	<0,001	0,738	0,008	<0,001	0,518	0,581	0,999	0,998	
Threonin	<b>78<sup>a</sup></b> ±2,7	<b>83<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>84<sup>b</sup></b> ±1,4	<b>80<sup>a</sup></b> ±2,7	<b>83<sup>ab</sup></b> ±2,8	<b>84<sup>b</sup></b> ±2,3	0,004	<0,001	0,967	0,234	0,023	0,901	0,545	1,000	0,999	
Valin	<b>83<sup>a</sup></b> ±2,1	<b>87<sup>b</sup></b> ±1,5	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,0	<b>85<sup>a</sup></b> ±2,0	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,1	<b>89<sup>b</sup></b> ±1,6	0,001	<0,001	0,845	0,035	0,001	0,666	0,640	0,999	0,996	

1, 4: proximal 2, 5: medial 3, 6: terminal

a,b: kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Abschnitten einer Variante bei  $p < 0,05$

## Ergebnisse

Aufgrund des nicht vorhandenen Enzymeinflusses wurden zur Ermittlung des Alterseinflusses die Versuchsgruppen mit und ohne Enzym zu einer Gruppe zusammengefasst, so dass sich eine Wiederholung von 15 (20 Tage alt) bzw. 16 (34 Tage alt) Abteilen je Altersgruppe ergab. Diese wurden nochmals statistisch geprüft und sind in Tabelle (13) dargestellt.

Durch die erneuten Berechnungen ergaben sich minimale Veränderungen bis 2 % in den Verdaulichkeitswerten. Auch ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den medialen und terminalen Abschnitten bei den 20 Tage alten Tieren für die Aminosäuren Arginin, Isoleucin, Phenylalanin und Valin. In der Gruppe der 35 Tage alten Tiere wurde festgestellt, dass sich nun der proximale Abschnitt bei allen Aminosäuren und dem Rohprotein signifikant vom medialen und terminalen Abschnitt unterschied.

Der Einfluss des Alters wurde zwischen den korrespondierenden Abschnitten untersucht. Es wurde ein signifikant negativer Effekt des Alters im terminalen Abschnitt auf die Verdaulichkeit der Aminosäuren Isoleucin, Leucin, Lysin und Methionin (2 bis 3 %) festgestellt. Aber auch die anderen Aminosäuren und das Rohprotein zeigen einen negativen Trend mit steigendem Alter der Tiere.

Tabelle 13: P<sub>c</sub>-Verdaulichkeit des Rohproteins, der essentiellen Aminosäuren und Cystin (in %, *SD*) in der Futtermischung in Abhängigkeit vom Darmabschnitt bei 20 und 35 Tage alten Broilern

Abschnitt	Variante						<i>p</i>								
	20 Tage			35 Tage			Einfluss des Abschnitts			Einfluss des Alters					
	proximal	medial	terminal	proximal	medial	terminal	1 zu 2	1 zu 3	2 zu 3	4 zu 5	4 zu 6	5 zu 6	1 zu 4	2 zu 5	3 zu 6
Rohprotein	<b>84<sup>a</sup></b> ±3,4	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,8	<b>90<sup>b</sup></b> ±1,7	<b>83<sup>a</sup></b> ±2,3	<b>87<sup>b</sup></b> ±1,9	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,6	<0,001	<0,001	0,155	<0,001	<0,001	0,749	0,998	0,674	0,097
Arginin	<b>85<sup>a</sup></b> ±3,1	<b>89<sup>b</sup></b> ±1,8	<b>92<sup>c</sup></b> ±1,8	<b>87<sup>a</sup></b> ±1,4	<b>90<sup>b</sup></b> ±1,2	<b>91<sup>b</sup></b> ±1,0	<0,001	<0,001	<u>0,006</u>	<0,001	<0,001	0,344	0,167	0,920	0,971
Cystin	<b>79<sup>a</sup></b> ±4,9	<b>84<sup>b</sup></b> ±2,9	<b>86<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>80<sup>a</sup></b> ±3,5	<b>84<sup>b</sup></b> ±2,4	<b>86<sup>b</sup></b> ±2,4	0,001	<0,001	0,305	0,008	<0,001	0,576	0,891	1,000	0,999
Isoleucin	<b>83<sup>a</sup></b> ±3,7	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>91<sup>cA</sup></b> ±1,8	<b>83<sup>a</sup></b> ±2,3	<b>87<sup>b</sup></b> ±2,2	<b>88<sup>bB</sup></b> ±1,7	<0,001	<0,001	<u>0,024</u>	0,001	<0,001	0,606	0,999	0,667	<u>0,024</u>
Leucin	<b>82<sup>a</sup></b> ±4,0	<b>87<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>90<sup>bA</sup></b> ±2,1	<b>82<sup>a</sup></b> ±2,5	<b>85<sup>b</sup></b> ±2,1	<b>87<sup>bB</sup></b> ±1,7	<0,001	<0,001	0,053	0,001	<0,001	0,708	0,999	0,354	<u>0,008</u>
Lysin	<b>83<sup>a</sup></b> ±3,9	<b>89<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>91<sup>bA</sup></b> ±2,0	<b>84<sup>a</sup></b> ±2,3	<b>87<sup>b</sup></b> ±2,2	<b>88<sup>bB</sup></b> ±1,6	<0,001	<0,001	0,087	0,002	<0,001	0,979	0,950	0,811	<u>0,019</u>
Methionin	<b>87<sup>a</sup></b> ±3,4	<b>91<sup>b</sup></b> ±1,9	<b>93<sup>bA</sup></b> ±1,7	<b>88<sup>a</sup></b> ±2,0	<b>90<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>91<sup>bB</sup></b> ±1,4	<0,001	<0,001	0,310	0,016	0,003	0,992	0,818	0,703	<u>0,043</u>
Phenylalanin	<b>82<sup>a</sup></b> ±4,2	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>91<sup>c</sup></b> ±1,9	<b>82<sup>a</sup></b> ±2,7	<b>87<sup>b</sup></b> ±1,9	<b>89<sup>b</sup></b> ±1,5	<0,001	<0,001	<u>0,034</u>	<0,001	<0,001	0,465	1,000	0,719	0,071
Threonin	<b>78<sup>a</sup></b> ±4,1	<b>83<sup>b</sup></b> ±2,6	<b>85<sup>b</sup></b> ±2,5	<b>79<sup>a</sup></b> ±2,8	<b>83<sup>b</sup></b> ±2,4	<b>84<sup>b</sup></b> ±1,9	<0,001	<0,001	0,369	0,004	<0,001	0,872	0,926	1,000	0,814
Valin	<b>83<sup>a</sup></b> ±3,4	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>90<sup>c</sup></b> ±1,8	<b>84<sup>a</sup></b> ±2,1	<b>87<sup>b</sup></b> ±1,8	<b>89<sup>b</sup></b> ±1,3	<0,001	<0,001	<u>0,042</u>	<0,001	<0,001	0,624	0,936	0,981	0,239

41

a, b: kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Abschnitten eines Alters bei  $p < 0,05$

A, B: kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen korrespondierenden Abschnitten zwischen den Altersstufen bei  $p < 0,05$

1, 4: proximal 2, 5: medial 3, 6: terminal

### 4.3. Versuch 6

#### Zum Einfluss des Aufstallungsortes auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Weizen

##### 4.3.1. Leistungsdaten

Die Leistungsdaten des sechsten Versuchs sind in Tabelle (14) dargestellt.

Zu Versuchsbeginn erwies sich die Lebendmasse der Variante II Stall (610 g) als signifikant höher als die der Varianten III Stall (585 g) und III Batterie (582 g). Zu Versuchsende ergab sich dieser Unterschied nicht mehr, jedoch lag die Variante I Stall (872 g) nun signifikant unter dem Wert der Variante II Stall (913 g). Auch bei den Zunahmen zeigt sich, dass die Variante I Stall mit 284 g signifikant unter den Varianten III Stall und III Batterie lag (306 bzw. 307 g). Die Futteraufnahme war zwar tendenziell höher bei den Tieren in der Batterie, dies ließ sich jedoch statistisch nicht absichern.

Tabelle 14: Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme des 6. Versuchs (Mittel, *s*)

Variante	Lebendmasse g				Zunahme g	Futteraufnahme g/d			
	Versuchsbeginn		Versuchsende						
I Stall	30 % Weizen	587 <sup>ab</sup>	21	872 <sup>a</sup>	32	284 <sup>a</sup>	14	106	3
II Stall	50 % Weizen	610 <sup>b</sup>	18	913 <sup>b</sup>	18	303 <sup>ab</sup>	6	107	4
III Stall	70 % Weizen	585 <sup>a</sup>	22	892 <sup>ab</sup>	34	306 <sup>b</sup>	15	107	4
I Batterie	30 % Weizen	588 <sup>ab</sup>	10	879 <sup>ab</sup>	15	291 <sup>ab</sup>	16	112	10
II Batterie	50 % Weizen	590 <sup>ab</sup>	8	890 <sup>ab</sup>	16	300 <sup>ab</sup>	9	115	8
III Batterie	70 % Weizen	582 <sup>a</sup>	14	889 <sup>ab</sup>	17	307 <sup>b</sup>	16	112	11

a,b: kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten bei  $p < 0,05$

##### 4.3.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren

Die Verdaulichkeitswerte des sechsten Versuchs sind in Tabelle (15) aufgeführt.

Die geringsten Aminosäureverdaulichkeiten der Tiere im Stall wies Tryptophan (73 %) auf, die höchste wurde bei Methionin (89 %) ermittelt. Im Mittel betrug die Verdaulichkeit 80 %. In der Batterie erwies sich ebenfalls Tryptophan (68 %) als am geringsten verdaulich, Arginin (83 %) als am höchsten, bei einem Mittel der Aminosäuren von 76 %. Bis auf Arginin, Cystin und Valin, wurde bei allen Aminosäuren und dem Rohprotein eine niedrigere Verdaulichkeit (4 bis 10 %) in der Batterie festgestellt, welche sich jedoch statistisch nicht absichern ließ.

## Ergebnisse

Tabelle 15: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins, der essentiellen Aminosäuren und Cystin (% , SE, r<sup>2</sup>) im Stall und der Batterie

Aufstallungsort	Stall		Batterie		<i>p</i>
Rohprotein	<b>79</b>	±2,9 0,97	<b>75</b>	±2,6 0,97	0,470
Arginin	<b>82</b>	±2,8 0,97	<b>83</b>	±2,2 0,98	0,749
Cystin	<b>74</b>	±3,8 0,94	<b>76</b>	±2,4 0,98	0,700
Isoleucin	<b>81</b>	±3,6 0,96	<b>76</b>	±3,2 0,96	0,380
Leucin	<b>84</b>	±2,7 0,98	<b>78</b>	±2,8 0,97	0,180
Lysin	<b>82</b>	±6,1 0,89	<b>75</b>	±4,1 0,94	0,436
Methionin	<b>89</b>	±3,8 0,96	<b>79</b>	±3,1 0,97	0,071
Phenylalanin	<b>85</b>	±2,3 0,98	<b>79</b>	±2,6 0,98	0,141
Threonin	<b>76</b>	±4,9 0,92	<b>72</b>	±3,7 0,94	0,599
Tryptophan	<b>73</b>	±5,3 0,90	<b>68</b>	±4,5 0,91	0,484
Valin	<b>77</b>	±3,8 0,95	<b>77</b>	±3,2 0,96	0,885
Mittel	<b>80</b>		<b>76</b>		

### 4.4. Versuch 7

#### Zum Einfluss einer Enzymvorfütterung auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Weizen mit und ohne Enzymzusatz

##### 4.4.1. Leistungsdaten

In den Tabellen (16) und (17) sind die Leistungsdaten der Starterphase und des Versuchszeitraum dargestellt.

Die Lebendmassen in Tabelle (16) wurden am 14. Lebenstag erhoben und unterscheiden sich, ebenso wie die Zunahmen, nicht zwischen den Versuchsgruppen.

Tabelle 16: Lebendmasseentwicklung der Starterphase (1 – 14. Lebenstag) (Mittel, *s*)

Variante	Lebendmasse g		Zunahme g
	Einstellung	Versuchsbeginn	
Starterfutter ohne Enzym (n=24)	48 <i>I</i>	482 <i>21</i>	434 <i>21</i>
Starterfutter mit Enzym (n=12)	48 <i>I</i>	483 <i>22</i>	436 <i>22</i>

Die in Tabelle (17) dargestellten Werte beziehen sich auf den 14. – 18. Lebenstag. Zu Versuchsbeginn unterschieden sich die Lebendmassen nicht, zu Versuchsende erwies sich Gruppe II (813 g) als signifikant schwerer gegenüber Gruppe I (739 g), III (729 g) und V (747 g). Dies spiegelt sich auch bei den Zunahmen wider, wobei im Versuchszeitraum die

## Ergebnisse

Gruppen II und IV (312 bzw. 299 g) signifikant höher waren als die Gruppen I, III und V. Die Gesamtzunahme ab dem Einstellen war allerdings nur bei Gruppe II signifikant verschieden von den Gruppen I, III und V. Bei der Futteraufnahme wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt, jedoch war sie bei Gruppe II mit 101 g/d am höchsten.

Tabelle 17: Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme (Mittel, s) während der Versuchsphase (14. – 18. Lebenstag)

Variante		Lebendmasse g		Zunahme g		Futteraufnahme	
		Enzym	Beginn	Ende	Versuch	gesamt	g/d
I	30 % Weizen -		470 7	739 <sup>a</sup> 16	269 <sup>ac</sup> 16	692 <sup>a</sup> 16	92 7
II	70 % Weizen -		500 27	813 <sup>b</sup> 41	312 <sup>b</sup> 15	764 <sup>b</sup> 40	101 9
III	30 % Weizen - / +		471 22	729 <sup>a</sup> 43	258 <sup>a</sup> 25	681 <sup>a</sup> 43	89 10
IV	70 % Weizen - / +		486 11	785 <sup>ab</sup> 18	299 <sup>b</sup> 10	737 <sup>ab</sup> 16	96 7
V	30 % Weizen +		485 21	747 <sup>a</sup> 31	263 <sup>ac</sup> 14	699 <sup>a</sup> 30	93 6
VI	70 % Weizen +		482 25	770 <sup>ab</sup> 36	287 <sup>bc</sup> 16	722 <sup>ab</sup> 37	94 8

a,b: kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten bei  $p < 0,05$

### 4.4.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren

Die Ergebnisse des siebten Versuchs sind aus Tabelle (18) ersichtlich.

In den drei Versuchsgruppen war jeweils Cystin am geringsten verdaulich mit 85, 82 und 75 %, während Lysin die höchste Verdaulichkeit aufwies mit 96 und 99 %. Es wurden zwischen den Varianten keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Es zeigte sich jedoch eine tendenzielle Steigerung der Verdaulichkeit der Aminosäuren (außer Cystin und Isoleucin) von der Variante „ohne Enzym“ zu „ohne/mit Enzym“ um bis zu 3 %. Eine weitere Steigerung der Verdaulichkeit bei der Variante „mit Enzym“, welche ab dem Einstellen mit dem Enzymzusatz gefüttert wurde, konnte nur für Methionin beobachtet werden. Der Anstieg, der bei Lysin ermittelt wurde, konnte nicht verwertet werden, da schon in der Variante „ohne/mit Enzym“ eine Verdaulichkeit von 99 % als unrealistisch einzustufen ist, ebenso wie die 115 % der Variante „mit Enzym“ praktisch nicht möglich sind. Auf eine statistische Auswertung wurde deshalb verzichtet. Die anderen Aminosäuren zeigten keine Änderung in der Verdaulichkeit (Arginin, Valin) oder eine tendenzielle Verschlechterung um bis zu 7 %.

Im Vergleich der Varianten „mit Enzym“ zu „ohne Enzym“ zeigte sich für Alanin, Arginin, Methionin und Valin eine tendenzielle Verbesserung der Verdaulichkeit, für das Rohprotein und Leucin keine Veränderung und für die übrigen essentiellen Aminosäuren wurde eine Verschlechterung um bis zu 10 % festgestellt.

Tabelle 18: P<sub>c</sub>-Verdaulichkeit des Rohproteins, der essentiellen Aminosäuren und Cystin (% , SE, r<sup>2</sup>) bei unterschiedlicher Dauer der Fütterung mit Enzymzusatz

	ohne Enzym			ohne / mit Enzym			mit Enzym			<i>p</i>		
	1			2			3			1 zu 2	1 zu 3	2 zu 3
Rohprotein	<b>89</b>	±5,4	0,96	<b>90</b>	±2,9	0,99	<b>89</b>	±5,0	0,97	0,936	0,967	0,887
Arginin	<b>92</b>	±5,1	0,97	<b>94</b>	±3,0	0,99	<b>94</b>	±5,9	0,96	0,730	0,811	0,982
Cystin	<b>85</b>	±10,2	0,87	<b>82</b>	±6,0	0,95	<b>75</b>	±9,3	0,86	0,816	0,503	0,515
Isoleucin	<b>94</b>	±5,7	0,96	<b>94</b>	±3,8	0,98	<b>92</b>	±7,2	0,94	0,965	0,804	0,739
Leucin	<b>93</b>	±5,6	0,96	<b>94</b>	±3,3	0,99	<b>93</b>	±5,7	0,96	0,821	0,987	0,835
Lysin	<b>96</b>	±7,1	0,95	<b>99</b>	±5,7	0,97	n.b.			0,774		
Methionin	<b>95</b>	±4,3	0,98	<b>96</b>	±3,6	0,99	<b>98</b>	±7,0	0,95	0,814	0,686	0,788
Phenylalanin	<b>90</b>	±6,2	0,95	<b>92</b>	±3,2	0,99	<b>87</b>	±5,1	0,97	0,877	0,680	0,455
Threonin	<b>89</b>	±7,9	0,93	<b>90</b>	±5,3	0,97	<b>88</b>	±10,0	0,89	0,959	0,948	0,901
Tryptophan	<b>85</b>	±6,6	0,94	<b>87</b>	±3,8	0,98	<b>82</b>	±6,6	0,94	0,811	0,754	0,522
Valin	<b>93</b>	±5,6	0,96	<b>94</b>	±4,4	0,98	<b>94</b>	±8,3	0,93	0,886	0,916	1,000
Mittel	<b>92</b>			<b>93</b>			<b>91</b>					

n.b.= nicht berechnet

#### 4.5. Versuch 8

##### **Einfluss der Struktur des Weizens (geschrotet vs. ganzes Korn) auf die praecaecale Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren**

Um den Einfluss der Weizenstruktur auf die Rohprotein- und Aminosäureverdaulichkeit zu prüfen, wurden sechs Futtermischungen erstellt. Drei dieser Mischungen wurden mit geschrotetem Weizen erstellt und dieser zu 30, 50 oder 70 % untergemischt. Den anderen drei Mischungen wurde vor dem pelletieren ebenfalls zu 30, 50 oder 70 % ganze Weizenkörner zugegeben.

##### **4.5.1. Partikelgrößenverteilung**

Die bei der nassen Siebanalyse ermittelte Verteilung der Partikelgrößen der sechs Versuchsmischungen ist in Abbildung (4) dargestellt. Eine Tabelle mit den genauen Angaben der einzelnen Fraktionen der Partikelverteilung ist im Anhang (Seite 111) zu finden.

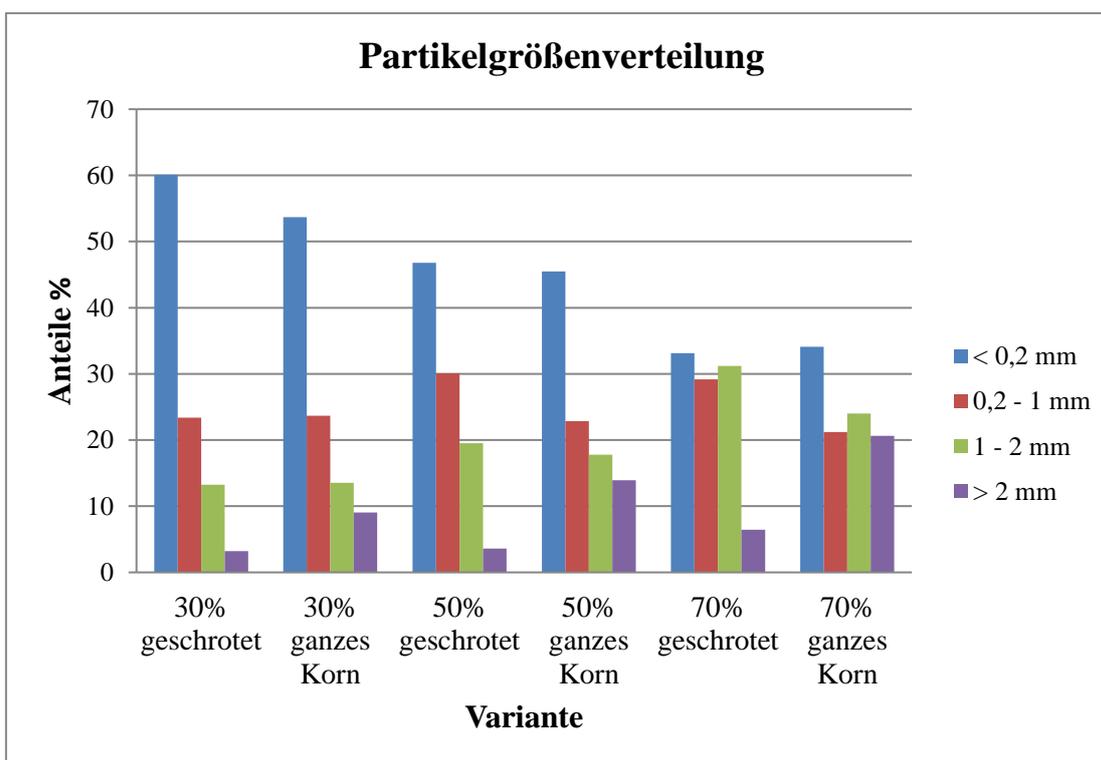


Abbildung 4: Partikelgrößenverteilung der Versuchsmischungen mit 30, 50 und 70 % Weizen, jeweils mit geschrotetem oder ganzem Weizen

Erwartungsgemäß ist in den Mischungen mit 30 % Weizen der größte Anteil der Partikel kleiner als 0,2 mm (60 bzw. 54 %). Dies liegt in dem großen Anteil an Maisstärke begründet. Die

## Ergebnisse

Größen 0,2 - 1 mm und 1 - 2 mm sind fast identisch, während die Fraktion über 2 mm deutliche Unterschiede aufweist (3 bzw. 9 %).

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei den Mischungen mit 50 % Weizen. Hier unterscheiden sich die Fraktionen unter 0,2 mm und 1 - 2 mm kaum voneinander, während bei den Fraktionen 0,2 - 1 mm (30 bzw. 23 %) und über 2 mm (4 bzw. 14 %) deutlichere Verteilungsunterschiede zu sehen sind.

Die 70 %igen Mischungen zeigen ebenfalls ähnliche Werte bei den Partikeln unter 0,2 mm. Die Fraktionen 0,2 - 1 mm und 1 - 2 mm liegen bei geschrotetem Weizen mit 29 und 31 % über den Werten des ganzen Weizen (21 und 24 %). Anders stellt sich die Verteilung in der Fraktion über 2 mm dar. Hier liegt der Anteil der Partikel bei ganzem Korn mit 21 % deutlich über dem Wert von 6 % bei geschrotetem Weizen.

### 4.5.2. Leistungsdaten

In der folgenden Tabelle (19) sind die Leistungsdaten des achten Versuchs dargestellt. Die Lebendmassen unterschieden sich nicht zu Versuchsbeginn (508 g), zu Versuchsende wies Gruppe III (1036 g) eine signifikant höhere Lebendmasse auf als Gruppe I (989 g). Dies wurde auch durch die Zunahmen bestätigt, welche bei Gruppe III und VI signifikant höher waren als bei I. Auch die Gruppe IV erwies sich als signifikant niedriger als Gruppe III. Die Ergebnisse zur Futteraufnahme ergaben keine Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen.

Tabelle 19: Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme des 8. Versuchs (Mittel, s)

Variante	Lebendmasse g		Zunahme g	Futteraufnahme g/d
	Versuchsbeginn	Versuchsende		
I geschrotet 30 % Weizen	512 9	989 <sup>a</sup> 31	478 <sup>a</sup> 25	110 12
II geschrotet 50 % Weizen	498 16	994 <sup>ab</sup> 28	495 <sup>ab</sup> 17	108 13
III geschrotet 70 % Weizen	508 11	1036 <sup>b</sup> 34	528 <sup>b</sup> 24	112 12
IV ganz 30 % Weizen	510 10	996 <sup>ab</sup> 40	485 <sup>ac</sup> 32	110 10
V ganz 50 % Weizen	509 10	1011 <sup>ab</sup> 16	502 <sup>ab</sup> 12	112 9
VI ganz 70 % Weizen	510 10	1027 <sup>ab</sup> 24	517 <sup>bc</sup> 23	113 9

a,b: kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten bei  $p < 0,05$

### 4.5.3. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren

Die Verdaulichkeit des Rohproteins und der essentiellen Aminosäuren sind in Tabelle (20) aufgeführt.

Als am höchsten verdaulich erwies sich bei beiden Futtervarianten Methionin mit 95 bzw. 93 %, am geringsten Tryptophan (87 bzw. 82 %), bei einem Mittel von 92 bzw. 88 % über alle

## Ergebnisse

Aminosäuren. Durch den Einsatz des ganzen Weizens kam es zu einer tendenziellen Verschlechterung der Verdaulichkeit des Rohproteins um 5 % und der Aminosäuren um bis zu 7 %, welche beim Cystin signifikant war.

Tabelle 20: P<sub>c</sub>-Verdaulichkeit des Rohproteins, der essentiellen Aminosäuren und Cystin in Futtermischungen mit geschrotetem oder ganzem Weizen (% , SE, r<sup>2</sup>)

Variante	geschroteter Weizen			ganzer Weizen			<i>p</i> 1 zu 2
		1	1,00	2			
Rohprotein	<b>92</b>	±1,1	1,00	<b>87</b>	±2,4	0,98	0,064
Arginin	<b>93</b>	±0,9	1,00	<b>91</b>	±2,9	0,98	0,626
Cystin	<b>90<sup>a</sup></b>	±1,8	0,99	<b>83<sup>b</sup></b>	±2,5	0,98	<u>0,019</u>
Isoleucin	<b>93</b>	±1,0	1,00	<b>90</b>	±2,3	0,98	0,226
Leucin	<b>93</b>	±1,0	1,00	<b>90</b>	±2,0	0,99	0,093
Lysin	<b>93</b>	±1,2	1,00	<b>93</b>	±3,2	0,97	0,922
Methionin	<b>95</b>	±1,0	1,00	<b>93</b>	±1,8	0,99	0,403
Phenylalanin	<b>91</b>	±1,3	1,00	<b>87</b>	±2,1	0,99	0,121
Threonin	<b>90</b>	±1,6	0,99	<b>86</b>	±3,3	0,97	0,289
Tryptophan	<b>87</b>	±1,6	0,99	<b>82</b>	±2,5	0,98	0,122
Valin	<b>93</b>	±1,0	1,00	<b>90</b>	±2,6	0,98	0,195
Mittel	<b>92</b>			<b>89</b>			

a,b: kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten bei  $p < 0,05$

## **5. Diskussion**

### **5.1. Versuch 1-4**

#### **Zum Einfluss der Sorte und eines Enzymzusatzes auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren und der Stärke aus Weizen**

##### **5.1.1. Leistungsdaten**

In allen Versuchen zeigten sich keine Auffälligkeiten in den ermittelten Werten zur Lebendmasse, Zunahme und Futteraufnahme. Das Wachstum der Tiere entsprach den Vorgaben der Züchter (AVIAGEN, 2014) bzw. wurden teilweise bessere Werte erzielt. Da das vorrangige Ziel der Untersuchungen die Bestimmung der pc Verdaulichkeit darstellte, waren die eigentlichen Versuchszeiträume nur zwischen 4 und 6 Tagen lang. Aus dieser kurzen Zeit kann die Leistung lediglich betrachtet oder dargestellt werden, aber ein Vergleich mit Leistungsparametern aus üblichen mehrwöchigen Leistungsversuchen ist hier nicht angebracht.

Im ersten Versuch wurden die Tiere mit durchschnittlich 520 g LM auf das Versuchsfutter umgestellt und wiesen damit ein um 90 g höheres Gewicht auf, als nach Züchterangaben üblich wäre für 14 Tage alte Broiler. Dementsprechend lag die LM zu Versuchsende 809 - 888 g ebenfalls über den Vorgaben (669 g am 18. LT), was durch die hohe Futteraufnahme von 112-122 g erklärt (Vorgabe 90 g) werden kann. Die Tiere des zweiten Versuchs waren sowohl zu Versuchsbeginn als auch am Ende um ca. 100 g leichter als die Tiere des ersten Versuchs, entsprachen damit aber genau den Züchterempfehlungen. Im dritten Versuch wurde wiederum ein überdurchschnittliches Wachstum festgestellt, während im vierten Versuch die Normwerte erreicht wurden. Ein Grund für die geringeren Lebendmassen im zweiten und vierten Versuch könnte der erhöhte Keimdruck im Stall gewesen sein. Da durch betriebsorganisatorische Gründe der 2. und 4. Versuch direkt auf den 1. bzw. 3. Versuch folgten, wurde die Einstreu der jeweils vorangegangenen Versuche nicht komplett aus dem Stall entfernt und lediglich frisches Einstreumaterial aufgebracht. Eine höhere mikrobielle Belastung für die daraufhin eingestellten Tiere ist somit wahrscheinlich und eine mögliche Erklärung für die geringeren Lebendmassen.

Bei allen Versuchen wurden lediglich bei den Zunahmen im Versuchszeitraum signifikante Unterschiede festgestellt. Hervorzuheben ist dabei, dass die Mischungen mit 70 % Weizen zu tendenziell oder signifikant besseren Zunahmen führten. Dies ist möglicherweise auf den höheren Rohproteingehalt der 70 %igen Mischungen zurückzuführen, der durch den Austausch der Maisstärke gegen den Weizen zustande kam.

## Diskussion

Aber auch die Futteraufnahme der Gruppen mit 70 % Weizen liegt tendenziell höher. Eine Erklärung hierfür wäre die geringere ``Schmackhaftigkeit`` der Pellets mit 30 % Weizen, da diese durch den hohen Maisstärkeanteil von 40 % beim pelletieren relativ hart wurden. Dass Weizen dem Ergänzungsfutter vorgezogen wird, beschreibt auch JEROCH (1987).

Unterschiede zwischen den Sorten innerhalb der einzelnen Versuche wurden nicht festgestellt bzw. konnte aufgrund der unterschiedlich langen Versuchsdauern kein Vergleich zwischen den Sorten der verschiedenen Versuche angestellt werden. Anzumerken ist jedoch, dass sowohl GUTIERREZ DEL ALAMO et al. (2008) als auch SCOTT et al. (2003) einen signifikanten Einfluss verschiedener Weizensorten auf die Futteraufnahme und Lebendmasse feststellen konnten. Auch STEENFELDT (2001), der 16 dänische Weizensorten einsetzte, stellte signifikante Unterschiede bei der Lebendmasse, der Zunahme, der Futteraufnahme und der Futtermittelverwertung fest, allerdings nicht zwischen allen Sorten.

Ein Einfluss des eingesetzten Enzymproduktes ist nicht nachweisbar. Wie zu Beginn des Kapitels aber schon erwähnt, kann durch die kurzen Versuchszeiträume auch keine adäquate Aussage zur Beeinflussung der Leistung durch das Enzym gemacht werden. Dennoch zeigt ein Blick in die Literatur, dass es unterschiedliche Ergebnisse bezüglich der Wirkung von Enzymen gibt. So konnten RAFUSE et al. (2005) keine Beeinflussung der Leistung bei Fütterung einer Ration mit 80 % Weizen und Zugabe einer Xylanase und Protease feststellen, ebenso wie GUTIERREZ DEL ALAMO et al. (2008), deren Ration 65 % bzw. 70 % Weizen verschiedener Sorten enthielt und deren Enzymzusatz eine Mischung aus Xylanase, Protease und Amylase war. COWIESON & MASEY O`NEILL (2013) hingegen setzten dasselbe Enzympräparat ein, welches in den eigenen Untersuchungen angewendet wurde (Econase XT), und erzielten eine signifikante Verbesserung der Zunahme über den gesamten Zeitraum der Starter- und Grower - Phase (LT 1-28) bei 62 – 68 % Weizen in der Ration. Ebenso SCOTT et al. (2003), welche einen positiven Einfluss des eingesetzten Enzympräparates auf die Futteraufnahme und die Lebendmasse bei einer Ration mit 80 % Weizen feststellen konnten.

### 5.1.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren

#### 5.1.2.1. Einfluss der Sorte

Es wurden im Mittel 86 % Rohproteinverdaulichkeit und 82 – 92 % Aminosäurenverdaulichkeit ermittelt. Die Werte sind somit ähnlich den Futterwerttabellen für die pc Verdaulichkeit für Broiler (EVONIK, 2016), wobei diese als standardisierte Verdaulichkeit ermittelt wurden. Deutlich schlechtere Rohproteinverdaulichkeit zeigten die Sorten Pamier (74 %) und Hermann (76 %), was sich auch gegenüber sieben anderen Sorten als signifikant erwies. Die gemittelte Aminosäureverdaulichkeit war bei den Sorten Skalmeje und Brilliant am höchsten (92 %), während die Sorten Pamier und Event mit 85 % die geringsten Werte aufzeigten. Dieser Unterschied ließ sich für die essentiellen Aminosäuren (außer Cystin, Methionin und Tryptophan) zwischen den Sorten Event und Brilliant auch statistisch absichern. BRYDEN et al. (2009) testeten 27 Weizensorten auf ihre pc Rohprotein- und Aminosäureverdaulichkeit, bei einer Ration mit 90 % Weizen. Der Weizen wurde in den Untersuchungen somit als alleiniges Futtermittel geprüft. Die Sorten variierten in ihrem Rohproteingehalt von 8,8 bis 16,2 g/kg. Die Verdaulichkeit des Rohproteins schwankte zwischen 72 und 85 %. Dies ist ähnlich zu den eigenen Werten (74 – 91 %), wenn sie auch tendenziell höher liegen. Auch die Werte für die Aminosäureverdaulichkeit liegen bei den eigenen Untersuchungen etwas über denen von BRYDEN et al. (2009). Da diese den gesamten Chymusinhalt des Abschnittes zwischen Meckel'schem Divertikulum und Ileo-Caecalklappe für ihre Untersuchungen genutzt haben, wäre eine Unterschätzung der Verdaulichkeit möglich. Wie KLUTH et al. (2005b) zeigten, ist die Verdauung der Aminosäuren im ersten Drittel des entnommenen Abschnitts noch nicht abgeschlossen, da sich signifikant niedrigere Verdaulichkeitsdaten vom proximalen zum terminalen Abschnitt ergaben. Die eigenen Untersuchungen (Kap. 5.2.) bestätigen diesen Sachverhalt und kommen zu demselben Ergebnis. Eine weitere Möglichkeit der niedrigeren Werte von BRYDEN et al. (2009) könnte der sehr hohe Anteil an Weizen in der Ration sein (90 %), der deutlich über den üblichen Getreidezugaben im Futter liegt. Dementsprechend hoch ist der Anteil der NSP, welche die Verdaulichkeit negativ beeinflussen (CHOCT & ANNISON, 1992, STEENFELDT et al., 2003). Diese könnten auch die Unterschiede zwischen den Sorten der eigenen Untersuchung erklären. Betrachtet man die entsprechenden Daten, so fällt auf, dass die im Mittel am besten verdauliche Sorte Brilliant auch die höchsten Anteile an Nicht-Stärke-Polysacchariden aufweist (Kap. 3.2.1.1, Tab. 2) im Vergleich zu den anderen Sorten. In Tabelle (21) sind die jeweils beiden am geringsten und höchsten verdaulichen Sorten nochmals mit den zugehörigen NSP- und Arabinoxylangehalten zusammengestellt.

Tabelle 21: P<sub>c</sub> Rohprotein- und Mittel der Aminosäureverdaulichkeit (%) von 4 Weizensorten mit den Angaben der Anteile an NSP und Arabinoxylanen (g/kg TM)

Sorte	XP		Aminosäuren		NSP	Arabinoxylan	
	-E	+ E	-E	+ E		total	löslich
Pamier	74	82	85	88	91	60,7	13,0
Event	80	89	85	86	96	60,9	8,3
Skalmeje	90	89	92	90	90	58,5	12,8
Brilliant	91	90	92	91	113	74,2	22,5

Die Sorte Skalmeje weist den geringsten NSP-Gehalt (90 g/kg TM) auf und ist sehr hoch verdaulich. Dies entspricht den Literaturangaben, da geringe NSP-Gehalte üblicherweise mit einer besseren Verdaulichkeit einhergehen. Dass die Sorte Brilliant mit 22,2 g/kg TM mehr NSP allerdings genauso gut, bzw. teils besser verdaulich ist, widerspricht dieser Annahme wiederum. Hier müssen andere Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Die niedrige Verdaulichkeit der Sorten Event und Pamier lassen sich auch nicht durch die Höhe der NSP erklären. Besonders die Sorte Event hebt sich durch sehr niedrige Anteile an löslichen Arabinoxylanen hervor. So führen bei diesen Sorten möglicherweise andere Einflussfaktoren zu einer schlechteren Verdaulichkeit. Bei PETERSON et al. (1991) wird zum Beispiel auf die viskositätssteigernde Wirkung von löslicher Stärke und Proteinen verwiesen. Auch SCHEELE et al. (1995) zeigten, dass die Speicherproteinfraktionen Gliadin und Glutenin Gluten bilden, welches viskoelastische Eigenschaften zeigt und die Verdaulichkeit der Nährstoffe verringert. Diese sogenannten Kleberproteine sind in Eliteweizen erwünscht, da sie für die Elastizität und Wasserbindung des Brotteiges nötig sind.

Keinen Einfluss der Weizensorte auf die preacaecale Rohproteinverdaulichkeit stellten GUTIERREZ DEL ALAMO et al. (2008), bei der Prüfung von 4 Weizensorten mit Rohproteingehalten zwischen 9,01 und 13,71 % fest. Auch KLUTH et al. (2009), welche 3 Sorten unterschiedlicher Qualitäten (E, A, B) untersuchten und RAFUSE et al. (2005), die fünf kanadische Weizensorten einsetzten, stellten keine statistisch relevanten Differenzen fest. BARTECZKO et al. (2009) hingegen unterzogen 9 polnische Weizensorten einer Prüfung auf Proteinverdaulichkeit und kamen zu signifikanten Unterschieden zwischen 66 und 85 %.

Die am höchsten verdauliche essentielle Aminosäure in den eigenen Untersuchungen war Methionin mit 92 %. Außer bei der Sorte Akteur wurden bei jeder Sorte Werte von 90 – 96 % ermittelt. Auch bei RAVINDRAN et al. (2005) ergab die Untersuchung für Methionin die

## Diskussion

höchsten Verdaulichkeiten (91 %) bei 8 getesteten Sorten. In der AminoDat<sup>®</sup> Datenbank der EVONIK (2016) wird für Methionin ebenso ein Wert von 91 % angegeben.

BRYDEN et al. (2009) konnten nur bei zwei der 27 geprüften Sorten Verdaulichkeiten über 90 % des Methionins feststellen, bei einer sehr großen Schwankungsbreite von 74 – 92 %.

Die geringsten Verdaulichkeitswerte zeigten sich bei Tryptophan (82 %) gefolgt von Cystin (84 %), wobei beide deutlich unter den Tabellenwerten liegen (86 % bzw. 91 %).

ZUBER & RODEHUTSCORD (2016) untersuchten, ebenfalls im Rahmen des GrainUp-Projektes, die gleichen Weizensorten (außer die Sorte Frument) derselben Chargen, welche in den eigenen Untersuchungen verwendet wurden, bei caecaectomierten Legehennen. Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse (Tab. 22) zeigt keine gerichteten Ergebnisse. Die Verdaulichkeitsdaten der Legehennen weisen teils erhebliche Unterschiede zwischen den Sorten auf. So ist die Methioninverdaulichkeit um 18 % niedriger bei der Sorte Pamier im Vergleich zur Sorte JB Asano. Die Sorten Skalmeje und Brilliant, welche in den eigenen Untersuchungen die höchsten Verdaulichkeiten aufwiesen, sind in den Ergebnissen von ZUBER & RODEHUTSCORD (2016) nicht auffällig und liegen im Mittel der Verdaulichkeit 5 % (Skalmeje) bzw. 8 % (Brilliant) niedriger. Die Sorte Akteur wiederum ist bei ZUBER & RODEHUTSCORD (2016) mit durchschnittlich 91 % sehr hoch verdaulich, beim Broiler gehört sie mit 86 % zu den weniger gut verdaulichen Weizensorten. Insgesamt sieben der 11 Sorten werden vom Broiler besser verdaut als von der Legehenne. Auch bei den einzelnen Aminosäuren zeigen sich teils erhebliche Unterschiede zwischen den Nutzungsrichtungen. Die Lysinverdaulichkeit ist beim Broiler zwischen 1 und 14 % höher, ebenso wie die Methioninverdaulichkeit (1 – 16 %) (außer Sorte Akteur). Für die anderen Aminosäuren sind je nach Sorte unterschiedliche Ergebnisse für die beiden Nutzungsrichtungen festzustellen.

## Diskussion

Tabelle 22: Vergleich der Ergebnisse der pc Verdaulichkeit der Aminosäuren (%) der gleichen Weizensorten (Sortennummer des GrainUp-Projektes) bei caecaectomierten Legehennen (ZUBER & RODEHUTSCORD, 2016) und den eigenen Untersuchungen am Broiler

	Skalmeje (1)	Tommi (2)	Event (4)	Tabasco (6)	Adler (7)	KWS Erasmus (8)	Akteur (9)	JB Asano (10)	Brilliant (11)	Hermann (14)	Pamier (19)											
Arg	89	93	88	93	88	88	92	87	91	89	88	90	87	92	86	89	86	89				
Ile	86	94	89	90	90	85	89	91	88	90	89	89	92	87	90	91	86	94	84	88	85	87
Leu	91	93	91	88	91	85	91	91	91	89	92	85	93	88	92	90	88	93	86	87	88	86
Lys	85	96	83	92	85	87	85	93	83	95	84	91	87	88	85	91	78	94	76	88	77	88
Met	90	96	91	92	91	91	91	94	92	92	92	92	93	88	93	94	79	95	78	91	75	90
Phe	92	92	92	89	92	86	92	92	92	89	93	86	94	89	93	90	89	93	87	89	89	88
Thr	87	91	86	88	87	82	84	88	85	86	85	85	88	84	85	86	80	89	78	84	78	81
Trp	84	86	90	82	88	80	84	84	88	78	87	76	88	79	88	82	83	86	81	82	82	78
Val	86	94	87	92	89	85	88	90	88	90	88	89	91	86	89	90	83	93	82	87	84	86
Mittel	88	93	89	90	89	85	88	91	88	89	89	87	91	86	89	89	84	92	82	87	83	86

schwarz: Ergebnisse nach ZUBER&RODEHUTSCORD, rot: eigene Ergebnisse

Dass Daten zur pc Verdaulichkeit nicht ohne weiteres vom Broiler auf die Legehenne übertragen werden können beschreibt auch HUANG et al. (2006). Auch sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass die Legehennen deutlich älter als die Broiler waren. Zum Einfluss des Alters sei auf Kapitel 5.2. verwiesen.

Untersuchungen bei der Pute (KLUTH & BORMANN, 2014) zur pc Verdaulichkeit der Aminosäuren verschiedener Weizensorten führten nicht zu signifikanten Unterschieden zwischen den Sorten. Die Schwankungsbreite des Rohproteins lag zwischen 87 und 91 %, die der essentiellen Aminosäuren zwischen 83 und 94 %.

Ein Blick auf andere Getreidearten zeigt, dass signifikante Sortenunterschiede bei der Gerste auftreten (AL-MARZOOQI et al., 2010). Aber auch bei Sojabohnen kommt es zu statistisch relevanten Differenzen (RAVINDRAN et al., 2014), sowie bei der Erbse (KLUTH et al., 2005a). Eine Studie von KASPRZAK et al. (2016) untersuchte Rapsextraktionsschrote aus 12 englischen Sorten und stellte signifikante Unterschiede der Aminosäureverdaulichkeit fest.

Neben der Rohprotein- und Aminosäureverdaulichkeit wurde ebenso die Stärkeverdaulichkeit der 12 Weizensorten geprüft. Die höchsten Werte wurden bei der Sorte Hermann ermittelt (97,5 %), die niedrigsten bei JB Asano (88,6 %), welche sich damit auch signifikant von 6 anderen Sorten unterschieden. Die Stärkeverdaulichkeit war dennoch sehr hoch und entspricht damit auch den bekannten Literaturangaben.

SVIHUS (2001) stellte eine sehr viel geringere Stärkeverdaulichkeit beim Einsatz von 4 in Norwegen üblichen Sorten fest. Sie variierte zwischen 76 und 83 %. Die Autoren vermuten, dass neben dem negativen Einfluss der NSP noch andere Faktoren die Verdaulichkeit der Stärke beeinflussen, da die Fett- und Proteinverdaulichkeit nicht auffällig niedrig waren.

Die Stärkeverdaulichkeit von 6 Weizensorten bei der Pute (KLUTH & BORMANN, 2014) schwankt zwischen 95 und 99 %, wobei auch da signifikante Unterschiede nicht zu verzeichnen waren.

### **5.1.2.2. Einfluss des Enzyms**

Ein signifikanter Einfluss des eingesetzten Enzyms auf die Rohprotein- und Aminosäureverdaulichkeit konnte in keinem der 4 Versuche nachgewiesen werden. Zwar zeigte sich bei manchen Sorten eine numerische Steigerung der Verdaulichkeit um bis zu 10 %. Diese ließen sich aber aufgrund der Varianz der Einzelergebnisse nicht statistisch absichern. Auffällig ist der bei einigen Sorten auftretende negative Effekt des Enzyms. Besonders deutlich tritt dieser bei den Sorten Tommi (Abnahme bis 7 %) und Frument (Abnahme bis 8 %) auf.

Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass es einen Zusammenhang zwischen der Stärke und Proteinverdauung gibt und die Endprodukte um die Transportkanäle in den Darmepithelien konkurrieren. Denn bei der Sorte Tommi wurde als einzige Sorte ein positiver Effekt des Enzyms auf die Stärkeverdauung ermittelt. Somit scheint der Anstieg der Glukosemoleküle und deren vermehrte Absorption zu einem Verdrängen der Aminosäureaufnahme zu führen. MOSS et al. (2018) stellten eben diesen Zusammenhang in ihren Untersuchungen zur Diskussion. Sie zeigten eine negative Korrelation zwischen der Stärkeverdaulichkeit und der Verdaulichkeit von 12 Aminosäuren.

Anhand der NSP-Fractionen der einzelnen Sorten (Kap. 3.2.1.1, Tab. 2) wäre eine Steigerung der Verdaulichkeit vor allem bei der Sorte Brillant zu erwarten gewesen, die mit 113 g/kg TM NSP und 22,5 g/kg TM löslichen Arabinoxylanen einen sehr viel höheren Anteil an viskositätssteigernden und damit verdaulichkeitsmindernden Inhaltsstoffen aufweist. Bei der Sorte Adler hingegen lässt sich zumindest eine tendenzielle Verbesserung beobachten, entsprechend der ebenfalls recht hohen Anteile an löslichen Arabinoxylanen (16,7 g/kg TM).

## Diskussion

Im Gegensatz zu den eigenen Untersuchungen stellten die meisten Studien signifikante Verbesserungen der Verdaulichkeit durch einen Enzymzusatz fest. So fanden ESMAEILIPOUR et al. (2012) eine signifikant verbesserte Rohproteinverdaulichkeit durch die Zugabe von 200mg Xylanase je kg Futter. Auch MULYANTINI & BRYDEN (2010) ermittelten eine um 9,7 % verbesserte Rohprotein- und Aminosäureverdaulichkeit durch die Zugabe einer Xylanase bei 92 % Weizen in der Ration. BEDFORD et al. (1998) prüften den Zusatz einer Xylanase bei 9 verschiedenen Weizensorten und kamen zu positiven Ergebnissen bezüglich der Enzymeffektivität.

CHOCT et al. (1995) fanden eine Verbesserung der Stärkeverdaulichkeit bei Einsatz von NSP-spaltenden Enzymen. Die Wirkung war hochsignifikant bei Weizen mit niedrigerem Gehalt an umsetzbarer Energie, aber nicht signifikant bei Weizenmischungen mit hohen Gehalten an umsetzbarer Energie. Die Proteinverdaulichkeit bei diesen Versuchen stieg nur numerisch von 69 auf 74 %. Auch SVIHUS (2001) konnte eine signifikante Verbesserung der Stärkeverdaulichkeit durch den Zusatz einer Enzymmischung aus Xylanase und Protase, bei 4 in Norwegen angebauten Weizensorten, nachweisen. Es zeigte sich eine Steigerung zwischen 8 und 17 %.

Besonders interessant ist die Untersuchung von COWIESON & MASEY O'NEILL (2013). Diese nutzten das gleiche Enzympräparat (Econase XT, AB Enzymes, Darmstadt) und stellten bei 28 Tage alten Broilern- bei Einsatz von 62% Weizen in der Ration- keinen Einfluss des Enzyms fest. Erst bei 48 Tage alten Tieren wurde ein signifikanter Anstieg ermittelt. Da konventionell gehaltene Broiler üblicherweise schon nach 5 Wochen geschlachtet werden, sind diese Ergebnisse für die Praxis allerdings weniger relevant.

Der Einsatz dieses Enzymes bei 4 Wochen alten Puten zeigte ebenso keinen signifikanten Effekt auf die pc Rohprotein- und Aminosäureverdaulichkeit (KLUTH & BORMANN, 2014).

Eine Erklärung für den ausbleibenden Enzymeffekt haben möglicherweise MADRID et al. (2010). Die Autoren setzten einen Enzymkomplex aus Protease, Amylase, Cellulase, Galactosidase und Xylanase unter verschiedenen Aufstallungsbedingungen ein. Während sich unter den Haltungsbedingungen in der Batterie kein Effekt ergab, wurde in Bodenhaltung bei älteren Broilern ein Anstieg der Verdaulichkeit durch das Enzym beobachtet. Noch deutlicher wurde diese Reaktion unter Praxisbedingungen in einem kommerziellen Betrieb. Die Autoren schlussfolgerten, dass unter schlechteren hygienischen Bedingungen und erhöhtem Stress für die Tiere deutlichere Ergebnisse zu erwarten sind.

## **5.2. Versuch 5**

### **Zum Einfluss von Alter, Dünndarmabschnitt und Enzymzusatz auf die praecaecale Verdaulichkeit von Aminosäuren weizenbetonter Rationen**

#### **5.2.1. Leistungsdaten**

Die Lebendmasse der Broiler der ersten Versuchsphase entsprachen zu Beginn am 15. Lebenstag und zu Versuchsende am 20. Lebenstag den Vorgaben der Züchter (Aviagen). Die Tiere des zweiten Versuchsabschnitts ab dem 30. Lebenstag wiesen hingegen geringere Lebendmassen auf (1485 g) als vorgegeben (1771 g). Begründet ist dieses wahrscheinlich mit der Fütterung des Starterfutters bis zum 29. Lebenstag, welches keine optimale Nährstoffzusammensetzung für wachsende Broiler ab dem 15. Lebenstag aufweist. Nach Umstellung auf das Versuchsfutter realisierten die Tiere allerdings deutlich höhere Zunahmen als erwartet und lagen zu Versuchsende nur noch ca. 100 g unter den Zielwerten der Züchter.

Der Enzymzusatz zeigte in keinem der Versuchsphasen einen Einfluss auf die Leistungsdaten. Wie schon in der Diskussion zu Versuch 1 – 4 festgestellt, differieren die Ergebnisse anderer Autoren zur Wirksamkeit von Enzymzusätzen.

#### **5.2.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren**

##### **5.2.2.1. Einfluss des Darmabschnitts**

Sowohl bei den 20 Tage alten, als auch bei den 35 Tage alten Broilern ließ sich eine signifikante Steigerung der Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren vom proximalen zum medialen Darmabschnitt feststellen. Zwischen dem medialen und terminalen Abschnitt ließ sich zwar noch eine tendenzielle Steigerung ermitteln, diese war aber für keine der Aminosäuren signifikant. Diese Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit denen von KLUTH et al. (2005b). In dieser Studie wurde die gleiche methodische Vorgehensweise genutzt, um die Verdaulichkeit zu prüfen. Es zeigte sich ein signifikanter Anstieg der Verdaulichkeit vom proximalen über den medialen zum terminalen Abschnitt und entspricht damit den Ergebnissen, welche auch in der vorliegenden Arbeit erhalten wurden. Gleiches zeigte die Studie von REZVANI et al. (2008), welche derselben Fragestellung mit Legehennen nachgingen. Auch sie kamen zu sehr ähnlichen Resultaten und wiesen nach, dass die Verdaulichkeit im proximalen Darmabschnitt signifikant niedriger als im terminalen Abschnitt ist.

Hingegen zeigten POURESLAMI et al. (2012), dass die Nutzung des gesamten Darmstücks im Vergleich zur Nutzung des terminalen Abschnitts von 15 cm Länge keine signifikant niedrigeren Werte aufwies.

Die eigenen Ergebnisse bekräftigen dennoch die Empfehlung, zur Messung der pc Verdaulichkeit lediglich den medialen und terminalen Abschnitt zwischen Meckel'schem Divertikulum und Ileo-Caecal-Klappe zu nutzen, da im proximalen Abschnitt die Verdauung der Aminosäuren noch nicht abgeschlossen ist. Eine Nutzung dieses Abschnittes würde somit zur Unterschätzung der Verdaulichkeit führen. Neuere vergleichende Untersuchungen von RAVINDRAN et al. (2017) zeigen, dass durch die Vorgabe eines Protokolls für Verdaulichkeitsstudien Unterschiede zwischen Versuchseinrichtungen und Methoden eliminiert werden und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse möglich wird. Die Autoren empfehlen eine standardisierte Sammlung des Chymus aus der oberen Hälfte des entnommenen Abschnittes zwischen Meckel'schem Divertikulum und Ileo-Caecal-Klappe.

### **5.2.2.2. Einfluss des Alters**

Die Untersuchungen zeigen eine signifikant niedrigere Verdaulichkeit der Aminosäuren Methionin, Lysin, Isoleucin und Leucin mit steigendem Alter. Aber auch die restlichen Aminosäuren und das Rohprotein werden tendenziell schlechter verdaut. Allerdings war die eingesetzte Ration sehr Weizen betont. Untersuchungen anderer Autoren lassen darauf schließen, dass es Unterschiede bezüglich des Futtermittels und des Alterseinflusses gibt. HUANG et al. (2005) untersuchten den Alterseinfluss bei 14, 28 und 42 Tage alten Broilern mit einer Ration, die 90 % Weizen enthielt. Die Autoren erzielten eine signifikant bessere Aminosäureverdaulichkeit bei den 14 Tage alten Broilern. Weiter wurden Hirse, Mais und Sojaextraktionsschrot als Testkomponenten eingesetzt. Bei der Hirseration zeigte sich eine Verminderung der Verdaulichkeit zum 28. Lebenstag, allerdings dann einen Anstieg zum 42. Lebenstag. Die Maisration hingegen zeigte einen Anstieg der Verdaulichkeit mit steigendem Alter, ebenso wie die Ration mit Sojaextraktionsschrot.

KIM & CORZO (2012) prüften Sojaextraktionsschrot und tierische Nebenprodukte auf ihre Verdaulichkeit hin und stellten lediglich bei den tierischen Nebenprodukten eine signifikante Steigerung mit dem Alter für die Aminosäuren Threonin, Thryptophan, Isoleucin und Valin fest. Der Einsatz des Sojaextraktionsschrotes führte zu keinen signifikanten Ergebnissen. Auch RITTESER (2016) kam zu uneinheitlichen Ergebnissen bei der Prüfung 15 verschiedener ökologisch angebauter Futtermittel. Während die Verdaulichkeit des Weizens mit steigendem Alter tendenziell schlechter wurde, nahm sie bei Roggen, Triticale und Hirse eher zu.

ADEDOKUN et al. (2008) untersuchten den Alterseinfluss bei Broilern und Puten zwischen dem 5. und 21. Tag bei verschiedenen Testkomponenten (Trockenschlempe, Mais, Raps- und Sojaextraktionsschrot). Die Angaben zur Verdaulichkeit, hier allerdings auf Basis der standardisierten Verdaulichkeit, zeigten keinen Einfluss des Alters bei den Puten außer für Mais. Bei den Broilern ergab sich ein Alterseffekt nur für den Mais und die Trockenschlempe.

Eine abschließende Erklärung kann aufgrund der unterschiedlichen Literaturangaben nicht gefunden werden. Beachtet werden sollte auch immer, dass die Versuchsdurchführung bei den verschiedenen Autoren leichte Unterschiede aufweist, ebenso wie die Menge der Testkomponenten in den Rationen und das untersuchte Tiermaterial.

### **5.2.2.3. Einfluss des Enzyms**

In den Untersuchungen konnte kein statistisch abgesicherter Einfluss der Enzymzugabe ermittelt werden. Lediglich eine numerische Steigerung der Verdaulichkeit bis zu 3 % wurde beobachtet. Im Vergleich zwischen den beiden Altersgruppen lässt sich aber feststellen, dass bei den 20 Tage alten Broilern ein Anstieg von 1-3 % bei allen Aminosäuren und dem Rohprotein zu sehen ist, während bei den älteren Tieren beim Rohprotein und auch einigen Aminosäuren kein Anstieg bzw. maximal 2 % auftraten. Möglicherweise sprechen die jungen Broiler eher auf den Enzymzusatz an. Dies stellten auch STEENFELDT et al. (1998) fest. In ihren Untersuchungen zeigten sich durch einen Enzymzusatz signifikant verbesserte Rohprotein- und Fettverdaulichkeit bei 25 Tage alten Broilern, während bei 46 Tage alten Tieren der Effekt nicht mehr nachzuweisen war. Gegenteiliges berichteten COWIESON & MASEY O`NEILL (2013). Diese stellen erst bei 48 Tage alten Broilern eine positive Reaktion der Xylanasezugabe fest, während bei 28 Tage alten Tieren diese nicht zu erkennen war.

Zu den möglichen Gründen für den ausbleibenden Enzymeffekt und Vergleichen mit anderen Autoren sei auf Kapitel 5.1.1. verwiesen.

### **5.3. Versuch 6**

#### **Zum Einfluss des Aufstallungsortes auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Weizen**

##### **5.3.1. Leistungsdaten**

Zwischen den Aufstallungsorten wurde kein gesicherter Effekt auf die Leistungsdaten festgestellt. Unterschiede in den Zunahmen ergaben sich, wie in Versuch 1 – 4, durch den steigenden Anteil des Weizens in den Rationen und den damit verbundenen Anstieg des Rohproteingehaltes.

GARCIA et al. (2008) ermittelten bessere Zunahmen und höhere Futteraufnahmen in der Batterie, im Vergleich mit Bodenhaltung und bei Einsatz einer weizenbetonten Ration. Zurückzuführen ist dies möglicherweise auf die geringere Bewegungsaktivität der Tiere in der Batterie. Bedingt durch die Kürze des Versuchszeitraumes kann dieser Sachverhalt allerdings nicht bestätigt werden.

##### **5.3.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren**

Die Aufstallung in der Batterie führte zu numerisch schlechteren Verdaulichkeiten des Rohproteins und der Aminosäuren bei Differenzen zwischen 4 und 10 %. Lediglich für Arginin und Cystin wurden bessere Werte ermittelt.

In der Literatur sind Untersuchungen zur gleichen Fragestellung nicht zu finden. Eine ähnliche Studie von MADRID et al. (2010) untersuchte zwar den Einfluss verschiedener Aufstallungsorte, bezogen diesen allerdings auf den Einsatz eines Enzymkomplexes. Vergleicht man die ermittelten Daten der Basaldiät, so zeigt sich auch bei diesen Autoren eine geringere Verdaulichkeit des Rohproteins in der Batterie (78,2 %) zu der in Bodenhaltung (81,8 %). Eine statistische Auswertung erfolgte nicht. GARCIA et al. (2008) prüften ebenso den Einsatz von zwei Xylanasen und eines Xylanase/Glucanasegemisches unter verschiedenen Aufstallungsbedingungen. Die ermittelte scheinbare pc Verdaulichkeit der Basaldiät, welche 40 bzw. 60 % Weizen enthielt, lag bei 75 % in der Batterie und bei 72 % in der Bodenhaltung bzw. 74 % unter praxisüblichen Haltungsbedingungen. Auch PIRGOZLIEV et al. (2014) untersuchten Verdaulichkeiten von Trockenmasse, Fett und Protein bei Broilern in Batterien und Bodenhaltung. Ziel dieser Studie war jedoch, den Zusatz einer Ölmischung zu prüfen. Vergleicht man die Proteinverdaulichkeit der eingesetzten Kontrolldiäten, zeigt sich eine geringere Verdaulichkeit in der Batterie, welche allerdings durch Exkrementensammlung ermittelt wurde.

Eine mögliche Erklärung der Differenzen der eigenen Untersuchung, ist in der höheren Futteraufnahme der Broiler in der Batterie zu finden. Dadurch könnte die Passagerate erhöht gewesen sein, mit entsprechend kürzerer Verweildauer des Chymus im Dünndarm, so dass der Aufschluss des Rohproteins und die Aufnahme der Aminosäuren vermindert war.

Weitere Untersuchungen zu dieser Fragestellung sind erforderlich, um konkrete Aussagen zum Einfluss des Aufstallungsortes zu treffen.

### **5.4. Versuch 7**

#### **Zum Einfluss der Dauer einer Enzymfütterung auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Weizen**

##### **5.4.1. Leistungsdaten**

Die Werte der Starterphase wiesen keine Unterschiede in der Lebendmasse oder den Zunahmen auf. Statistisch relevante Unterschiede wurden lediglich im zweiten Versuchsabschnitt vom 14. – 18. Lebenstag zwischen Fütterungsgruppen ermittelt, die verschieden hohe Gehalte an Weizen in der Ration erhielten. Wie auch in den Versuchen 1 – 4 und 6 führte die Fütterung mit 70 % Weizen zu teils signifikant besseren Zunahmen, was durch den höheren Rohproteingehalt zu erklären ist.

Durch den Zusatz des Enzyms sind keine Effekte beobachtet worden. Tatsächlich wiesen die Tiere, welche zu keiner Zeit mit einem Enzymzusatz gefüttert wurden, die höchsten Zunahmen auf. Die Ergebnisse stehen im Gegensatz zu vielen anderen Studien. ESMERAILIPOUR et al. (2012) fanden einen signifikanten Enzymeffekt, sowohl in der Starterphase bis zum 10. Lebenstag, als auch über den gesamten Versuchszeitraum bis zum 24. Tag. Ebenso wie COWIESON & MASEY O`NEILL (2013), die Xylanase in einer weizenbetonten Mischung ab dem ersten Tag einsetzten.

##### **5.4.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren**

Ein signifikanter Einfluss des Enzymzusatzes wurde nicht festgestellt. Es ergab sich eine tendenzielle Verbesserung zwischen den Varianten „ohne Enzym“ und „ohne/mit Enzym“ für das Rohprotein und die Aminosäuren. Die Versuchsgruppe „mit Enzym“ hingegen wies bei einigen Aminosäuren und dem Rohprotein niedrigere Verdaulichkeiten (-10 %) auf, als die Gruppe, die kein Enzym erhalten hatte. Die ursächliche Fragestellung für diesen Versuch sollte

## Diskussion

klären, ob das eingesetzte Enzym über einen längeren Zeitraum gefüttert werden muss, um optimal wirken zu können, da in den Versuchen 1 – 4 kein deutlicher Effekt des Enzyms festgestellt wurde. Die üblichen Zeiträume in diesen Versuchen, lagen zwischen 4 und 6 Tagen, wobei sich die Frage ergab, ob dieser Zeitraum zu kurz sei, um aussagekräftige Werte zu erhalten. Dies wurde nicht bestätigt.

COWIESON & MASEY O`NEILL (2013) setzten dasselbe Enzympräparat in ihren Untersuchungen ein. Sie prüften, ob der Einsatz der Xylanase ab dem ersten Lebenstag in einer weizenbasierten Ration (62 – 72 %) zu verbesserten Verdaulichkeiten führt, gegenüber dem Einsatz ab dem 28. Lebenstag. Während am 28. Lebenstag ein um 2 % bessere Verdaulichkeit des Proteins bei der supplementierten Versuchsgruppe festgestellt wurde, ergab sich am 49. Lebenstag kein Unterschied mehr zwischen den beiden Varianten. Gegenüber der Kontrollgruppe, welche zu keiner Zeit das Enzym erhielt, lies sich eine signifikante Verbesserung um 4 % feststellen. Diese Untersuchung deutet daraufhin, dass dieses Enzymprodukt über einen sehr langen Zeitraum gefüttert werden muss, um signifikante Unterschiede zu erhalten.

In dem Versuch wurde die Weizensorte „Event“ eingesetzt. Diese wurde auch schon im 2. Versuch geprüft. Ein Vergleich der Ergebnisse aus beiden Versuchen ist möglich, da die Vorgehensweise identisch war. In Tabelle (23) sind diese gegenübergestellt.

Tabelle 23: Vergleich der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%) der Weizensorte Event aus Versuch 2 und 7

	Versuch 2		Versuch 7		
	-E	+ E	-E	-/+E	+E
Rohprotein	<b>84</b>	<b>89</b>	<b>89</b>	<b>90</b>	<b>89</b>
Arginin	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>92</b>	<b>94</b>	<b>94</b>
Cystin	<b>84</b>	<b>86</b>	<b>85</b>	<b>82</b>	<b>75</b>
Isoleucin	<b>85</b>	<b>87</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>92</b>
Leucin	<b>85</b>	<b>85</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>93</b>
Lysin	<b>87</b>	<b>89</b>	<b>96</b>	<b>99</b>	n.b.
Methionin	<b>91</b>	<b>92</b>	<b>95</b>	<b>96</b>	<b>98</b>
Phenylalanin	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>90</b>	<b>92</b>	<b>87</b>
Threonin	<b>82</b>	<b>81</b>	<b>89</b>	<b>90</b>	<b>88</b>
Tryptophan	<b>80</b>	<b>81</b>	<b>85</b>	<b>87</b>	<b>82</b>
Valin	<b>85</b>	<b>86</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>94</b>

nb = nicht berechnet

Festzustellen ist die höhere Verdaulichkeit der Aminosäuren in Versuch 7 bei allen Varianten. Lediglich die Rohproteinverdaulichkeit ist annähernd gleich. Die Ergebnisse für die Aminosäure Cystin stellen sich in Versuch 7 schlechter dar. Der einzige versuchstechnische Unterschied zwischen beiden Versuchen ist die Länge der Fütterung mit der eingesetzten Weizensorte, welche in Versuch 2 fünf Tage betrug, während im besprochenen Versuch 18 Tage lang der Weizen gefüttert wurde. Eine mögliche Erklärung wäre die Adaption der Pankreasenzyme an die vorhandene Futterzusammensetzung und eine dadurch effektivere Verdauung der Nährstoffe.

## 5.5. Versuch 8

### **Einfluss der Struktur des Weizens (geschrotet vs. ganz) auf die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren**

#### 5.5.1. Leistungsdaten

Ebenso wie in den vorangegangenen Versuchen zeigte sich eine teils signifikant höhere Lebendmasse bei den Tieren der Versuchsgruppen, die 70 % Weizen in der Ration erhielten. So wiesen die Gruppen III (70 % Weizen geschrotet) und VI (70 % ganzer Weizen) signifikant höhere Zunahmen (528 bzw. 517 g) auf als Gruppe I (30 % Weizen geschrotet; 478 g). Auch

hier ist der höhere Rohproteingehalt ursächlich, da sich die Futteraufnahme nicht unterschied. SVIHUS et al. (2004) stellten in ihren Untersuchungen keinen Einfluss durch den Einsatz von ganzem Weizen auf die Futteraufnahme, die Lebendmasse und die Futtermittelverwertung fest. Hingegen wiesen GABRIEL et al. (2008) eine höhere Zunahme bei Broilern zwischen dem 15. und 29. Lebenstag nach. Diese stellten allerdings den Weizen und das Ergänzungsfutter in zwei verschiedenen Futterautomaten zur Verfügung, so dass die Tiere eigenständig entscheiden konnten, welches der Futtermittel sie bevorzugen. Bei den Untersuchungen von HETLAND et al. (2002) führte der Einsatz von 500 bzw. 600 g/kg Futter ganzem Weizen zu einer niedrigeren Lebendmasse und geringerer Futtermittelverwertung. Das Futter wurde in Form einer Mischung aus pelletierten Ergänzungsfutter und ganzem Weizen angeboten, so dass auch hier eine Selektion durch die Tiere nicht ausgeschlossen werden kann. Die unterschiedliche Darreichungsform und Einsatzmenge des Getreides sind sicherlich Gründe für die unterschiedlichen Ergebnisse.

### **5.5.2. Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren**

Die positiven Ergebnisse der Leistungsdaten wurden durch die Messung der Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren nicht widerspiegelt. Es zeigte sich eine tendenzielle Verschlechterung der Verdaulichkeit durch den Einsatz des ganzen Weizens. Statistisch abgesichert wurde dieses Ergebnis bei der Aminosäure Cystin, welche sich als 7 % niedriger verdaulich erwies (90 % geschroteter Weizen, 83 % ganzer Weizen).

BIGGS & PARSONS (2009) prüften den Einsatz von 5, 10, 15 und 20 % ganzem Weizen in der Ration und stellten eine signifikant bessere Aminosäureverdaulichkeit bei 10, 15 und 20 % Weizen fest. Lediglich die Methioninverdaulichkeit unterschied sich nicht.

Es wird vermutet, dass größere Nahrungspartikel länger im Magen-Darm-Trakt verweilen und somit den körpereigenen Enzymen mehr Zeit zur Verfügung steht, die Nahrungsbestandteile zu zersetzen (NIR et al., 1994a). Festgestellt werden kann, dass lediglich Partikel, die nicht größer als 1,5 mm sind, den Pylorus passieren können (FERRANDO et al., 1987). Bei der Fütterung von ganzem Weizen müssen diese also zunächst im Muskelmagen auf eine Größe reduziert werden, die einen Weitertransport in den Dünndarm möglich macht. Dementsprechend länger befinden sich die Weizenkörner im sauren Milieu des Magens. HETLAND et al. (2005) spekulierten, dass dadurch Stärkekörner und Proteine schnell aufgelöst werden und die Partikelgröße reduziert wird, ohne die Passagegeschwindigkeit zu beeinflussen. Auch SVIHUS et al. (2002) und SVIHUS et al. (2004) konnten keine Erhöhung der Gesamtdurchgangszeit bei Fütterung von ganzem Weizen feststellen. Die erhaltenen Ergebnisse sprechen somit eher dafür, dass durch die Fütterung des ganzen Weizens die Angriffsfläche für die Enzyme verringert ist

## Diskussion

und somit ein Hindernis für die Verdauung darstellt. PERON et al. (2005) konnten darstellen, dass ein sehr fein vermahlener Weizen eine signifikant höhere Stärkeverdaulichkeit aufweist als ein grob vermahlener Weizen. Die Protein- und Fettverdaulichkeit steigerte sich allerdings nicht.

### 6. Schlussfolgerungen

Aus den durchgeführten Untersuchungen lässt sich folgendes schlussfolgern:

Die geprüften Winterweizensorten wiesen eine Rohproteinverdaulichkeit zwischen 74 – 91 % auf. Die Sorten Pamier und Hermann erwiesen sich als signifikant schlechter verdaulich als 7 andere Sorten. Die Aminosäureverdaulichkeit lag im Mittel zwischen 85 und 92 % und entsprach damit den gängigen Literaturangaben. Vereinzelt wurden Unterschiede zwischen den Sorten festgestellt. Ein Einsatz der Weizensorten in der Broilerfütterung kann empfohlen werden. Lediglich die Sorten Pamier und Hermann sollten möglicherweise nochmals geprüft werden.

Ein Zusammenhang zwischen der Verdaulichkeit und den Gehalten an NSP und Arabinoxylane wurde nicht beobachtet. Tatsächlich zeigt die Sorte Brilliant, welche die höchsten Gehalte an löslichen Arabinoxylanen aufweist, die höchsten Verdaulichkeitswerte. Hier müssen andere Einflussfaktoren berücksichtigt werden.

Die Stärkeverdaulichkeit war bei allen geprüften Sorten sehr hoch (89 – 97 %), unterschied sich aber signifikant zwischen einigen Sorten.

Der Einsatz der Xylanase führte zu ungerichteten Ergebnissen. So steigerte sich bei manchen Sorten die Verdaulichkeit tendenziell, bei anderen zeigte sich keine Änderung bzw. ein negativer Trend. Statistisch absichern ließen sich diese Beobachtungen nicht. Ein Einsatz des Enzymproduktes kann somit nicht empfohlen werden bzw. sollten weitere Untersuchungen, z.B. mit anderen Futtermitteln, durchgeführt werden.

Dass die Verdauungs- und Absorptionsvorgänge im Dünndarm im proximalen Abschnitt der entnommenen Darmabschnitte noch nicht abgeschlossen sind, konnte deutlich dargestellt werden. Die Ergebnisse stehen damit in Übereinstimmung mit anderen Arbeiten (KLUTH et al., 2005b; REZVANI et al., 2008). Es wird empfohlen, die letzten zwei Drittel bzw. die hintere Hälfte des entnommenen Darmabschnittes für die Untersuchungen zu pc Verdaulichkeit zu nutzen.

Mit steigendem Alter wird Weizen von Broilern schlechter verdaut. Dies steht in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von RITTESER (2016) und HUANG et al. (2005). Bei anderen Futtermitteln lässt sich dieser Zusammenhang nicht herstellen.

## Schlussfolgerungen

Ein Einfluss des Aufstallungsortes auf die pc Verdaulichkeit wurde nicht festgestellt. Lediglich eine numerisch geringere Verdaulichkeit der Aminosäuren von bis zu 10 % wurde in der Batteriehaltung ermittelt.

Ein längerer Einsatz des geprüften Enzymzusatzes führte nicht zu verbesserten Verdaulichkeiten des Rohproteins und der Aminosäuren. Somit scheint die Dauer des Einsatzes nicht ursächlich für die geringe Wirksamkeit zu sein.

Die Zugabe von ganzen Weizenkörnern zur Futtermischung führte zu tendenziell schlechteren Verdaulichkeitswerten. Ursächlich hierfür könnte sein, dass durch unzureichende Zerkleinerung im Muskelmagen, die Angriffsfläche für die körpereigenen Enzyme verringert war und damit ein unzureichender Nährstoffaufschluss erfolgte. Weitere Untersuchungen sollten über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden.

### 7. Zusammenfassung

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft geförderten Projektes „Innovationsforschung zum Futterwert von Getreide und seiner Verbesserung – GrainUp“ wurden als Teilprojekt II 8 Versuche zu pc Verdaulichkeit von Weizen beim Broiler durchgeführt.

Die Messung der Verdaulichkeit auf pc Ebene beim Geflügel ist mittlerweile Standard. Die Methoden unterscheiden sich dennoch teils erheblich zwischen den Studien, so dass mehrere Zielstellungen formuliert wurden, um methodische Aspekte und Einflussgrößen näher zu beleuchten.

Die Versuche 1 – 4 gingen der Frage nach, ob es Unterschiede in der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren zwischen 12 verschiedenen Weizensorten gibt. Zusätzlich wurde der Einsatz einer Xylanase geprüft. Die zu prüfenden Weizensorten wurden in zwei Zulagestufen (30 und 70 %) im Austausch gegen Maisstärke in das Versuchsfutter gemischt. Weiterhin wurde jedes Futter auch mit dem Enzym (0,1 g/kg) gemischt. Als unverdaulicher Marker wurde Titandioxid eingesetzt (5 g/kg). Das Versuchsfutter wurde über 4 – 5 Tage an männliche Broilerküken gefüttert. Nach 20 – 21 Tagen erfolgte die unblutige Tötung der Tiere und die Entnahme des Darmabschnittes zwischen Meckel'schem Divertikulum und Ileo-Caecal-Klappe. Das entnommene Teilstück wurde gedrittelt, der Inhalt des medialen und terminalen Abschnitts mit destilliertem Wasser ausgespült und anschließend für die Analysen gefriergetrocknet. Die Bestimmung der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren erfolgte mittels linearer Regression nach RODEHUTSCORD et al. (2004).

Die mittlere Rohproteinverdaulichkeit betrug 85 % (74 – 91 %), wobei die Sorten Pamier und Frument mit 74 bzw. 76 % die geringste Verdaulichkeit aufwiesen und sich damit signifikant von 7 anderen Sorten unterschieden. In Übereinstimmung mit andern Literaturangaben war Methionin am höchsten verdaulich (92 %) und Tryptophan am geringsten (82 %). Signifikante Unterschiede in der Aminosäureverdaulichkeit ergaben sich für 7 essentielle Aminosäuren zwischen den Sorten Brilliant und Event.

Durch den Einsatz des Enzyms wurde bei manchen Sorten eine tendenzielle Steigerung der Verdaulichkeit festgestellt (bis 10 %), welche sich statistisch allerdings nicht absichern ließ.

Die Verdaulichkeit der Stärke wurde ebenfalls ermittelt. Diese betrug im Mittel 94 %, wobei sich signifikante Unterschiede zwischen einigen Sorten feststellen ließen. Durch den Enzymeinsatz verbesserte sich die Stärkeverdaulichkeit der Sorte Tommi signifikant um 3 %.

## Zusammenfassung

Im 5. Versuch wurde der Einfluss des Alters der Tiere, des beprobten Darmabschnittes und der Einsatz eines Enzyms auf die pc Verdaulichkeit geprüft. Dazu wurde die Hälfte der Broiler am 15. Lebenstag auf das Versuchsfutter (70 % Weizen, mit und ohne Xylanasezusatz) umgestellt, die andere Hälfte am 35. Lebenstag. Beide Versuchsgruppen erhielten das Futter über 4 Tage. Die Probennahme erfolgte identisch zu den Versuchen 1 – 4.

Sowohl bei den 20 Tage alten Broilern, als auch bei den 35 Tage alten Tieren ließ sich eine signifikante Steigerung der Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren vom proximalen zum medialen Abschnitt feststellen. Zwischen dem medialen und terminalen Abschnitt wurde keine Steigerung mehr ermittelt. Die Zugabe der Xylanase führte in keiner Altersgruppe zu einem statistisch relevanten Effekt. Einen Einfluss des Alters wurde für die Aminosäuren Isoleucin, Leucin, Lysin und Methionin festgestellt. Diese wurden von den 35 Tage alten Broilern um bis zu 3% schlechter verdaut.

Der 6. Versuch ging der Frage nach, ob der Aufstallungsort einen Einfluss auf die pc Verdaulichkeit hat. Dazu wurden sowohl in Batterie-, als auch in Bodenhaltung 264 Tiere aufgestellt und ab dem 15. Lebenstag mit den 3 Versuchsfuttern (3 Zulagestufen des Weizens, 30, 50 und 70 %) gefüttert. Die Probennahme erfolgte nach 4 Tagen entsprechend den Versuchen 1 – 4.

Die pc Verdaulichkeit des Rohproteins lag bei 79 % in Stallhaltung und bei 75 % in der Batteriehaltung. Im Mittel ergab sich eine Aminosäureverdaulichkeit von 80 % im Stall, im Vergleich zu 76 % in der Batterie. Damit zeigt sich eine tendenziell schlechtere Verdaulichkeit in der Batterie, welche sich allerdings nicht als signifikant erwies.

Da in den Versuchen 1 – 4 ein Effekt des Enzyms nicht beobachtet werden konnte, ergab sich die Fragestellung, ob ein längerer Einsatz der Xylanase zu signifikanten Effekte führt. Im 7. Versuch wurde aus diesem Grund ein Starterfutter mit und ohne Enzym erstellt. Die Mischung ohne Enzym wurde an 24 Abteile mit männlichen Eintagsküken gefüttert, die Mischung mit Enzym an 12 Abteile. Am 14. Lebenstag wurde auf die Versuchsmischungen (entsprach den Mischungen aus Versuch 1 – 4) umgestellt, wobei nun 12 Abteile mit Tieren, die zuvor kein Enzym erhielten, auf die Mischung mit Enzymzusatz umgestellt wurden. Sowohl die Probennahme am 18. Lebenstag, als auch die statistische Auswertung erfolgte analog zu den Versuchen 1 – 4.

Durch die Umstellung am 14. Lebenstag auf die Mischung mit Enzym ergab sich eine tendenzielle Verbesserung der Verdaulichkeit um bis zu 3%, im Vergleich zu den Tieren,

## Zusammenfassung

welche zu keiner Zeit mit dem Enzym gefüttert wurden. Hingegen wurde bei den Tieren, die ab dem ersten Lebenstag das supplementierte Futter erhielten, bei einigen Aminosäuren eine geringere Verdaulichkeit um bis zu 10 % festgestellt.

Der Einfluss der Futterstruktur auf die pc Verdaulichkeit wurde im 8. Versuch untersucht. Dazu wurden 6 Futtermischungen erstellt, welche in drei Zulagestufen (30, 50, 70 %) entweder geschroteten oder ganzen Weizen enthielten. Die Versuchsmischungen wurden ab dem 14. Lebenstag über 7 Tage an jeweils 8 Abteile verfüttert. Die Probennahme und Auswertung erfolgte entsprechend der Versuche 1 – 4.

Die Rohproteinverdaulichkeit der Mischung mit geschrotetem Weizen betrug 92 %, die der Mischung mit ganzem Weizen 87 %. Auch die mittlere Aminosäureverdaulichkeit war bei Einsatz des ganzen Weizens um 3 % niedriger (92 vs. 89 %). Bei den Aminosäuren kam es zu einer tendenziellen Verschlechterung der Verdaulichkeit um bis zu 7 %, welche beim Cystin signifikant war.

Mit den durchgeführten Untersuchungen wurde ein Beitrag zur Erstellung von Tabellenwerken zur pc Verdaulichkeit von Aminosäuren geleistet. Weiterhin wurden Einflussfaktoren auch die pc Verdaulichkeit untersucht, die zur Standardisierung der Bestimmungsmethodik beitragen können.

## 8. Literaturverzeichnis

- ADEDOKUN, S. A., LILBURN, M. S., PARSONS, C. M., ADEOLA, O., APPLGATE, T. J. (2007): Effect of age and method on ileal endogenous amino acid flow in turkey poults. *Poultry Science*, 86, 1948-1954
- ADEDOKUN, S. A., PARSONS, C. M., LILBURN, M. S., ADEOLA, O., APPLGATE, T. J. (2007): Endogenous amino acid flow in broiler chicks is affected by the age of birds and method of estimation. *Poultry Science*, 86, 2590-2597
- ADEDOKUN, S. A., ADEOLA, O., PARSONS, C. M., LILBURN, M. S., APPLGATE, T. J. (2008): Standardized ileal amino acid digestibility of plant feedstuffs in broiler chickens and turkey poults using a nitrogen-free or casein diet. *Poultry Science*, 87, 2535–2548
- ADEDOKUN, S. A., UTTERBACK, P., PARSONS, C. M., ADEOLA, O., LILBURN, M. S., APPLGATE, T. J. (2009): Comparison of amino acid digestibility of feed ingredients in broilers, laying hens and caecectomised roosters. *British Poultry Science*, 50, 350-358
- ADEDOKUN, S. A., JAYNES, P., PAYNE, R. L., APPLGATE, T. J. (2015): Standardized ileal amino acid digestibility of corn, corn distillers' dried grains with solubles, wheat middlings and bakery by-products in broilers and laying hens. *Poultry Science*, 94, 2480–2487
- AL-MARZOOQI, W., KADIM, I.T., MAHGOUB, O., AL-BUSAIDI, M., AL-LAWATI, S.M., AL-MAQBALY, R., AL-WHEEBI, S., AL-BAKERY, A.N. (2010): Apparent ileal amino acids digestibility of four varieties of barley for two strains of chickens. *International Journal of Poultry Science* 9, 527-532
- AMAD, A.A. (2001): Zum Einfluss unterschiedlicher Behandlungsverfahren und Zusatzstoffe auf ernährungsphysiologische Parameter und Leistung wachsender Broiler nach Verabreichung weizenbetonter Futtermischungen. Dissertation; Georg-August-Universität Göttingen
- AMERAH, A., RAVINDRAN, V., LENTLE, R., THOMAS, D. (2008): Influence of feed particle size on the performance, energy utilization, digestive tract development, and digesta parameters of broiler starters fed wheat-and corn-based diets. *Poultry Science* 87, 2320-2328
- ANGKANAPORN, K., CHOCT, M., BRYDEN, W. L, ANNISON, E. F., ANNISON, G. (1994): Effects of wheat pentosans on endogenous amino acid losses in chickens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 66, 399-404
- APPLGATE, T.J, TROCHE, C., JIANG, Z., JOHNSON, T.R. (2008): Replacement of soybean meal with high-protein corn distillers grain in broiler diets. *Poultry Science*, 87, 28-28
- AVIAGEN (2014): Ross 308: Performance objectives.
- BACH KNUDSEN, K. E. (1997): Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Animal Feed Science and Technology*, 67, 319-338

- BACH KNUDSEN, K. E. (2001): The nutritional significance of "dietary fiber" analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 90, 3-20
- BACH KNUDSEN, K.E. (2014): Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. *Poultry Science*, 93, 2380-2393
- BANK, S. (2010): Zur Bedeutung von Art und Intensität der Vermahlung für die Verdaulichkeit von organischer Substanz und Stärke bei Einsatz von Weizen und Mais in der Fütterung von Mastputen. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover
- BARTECZKO, J., AUGUSTYN, R., LASEK, O. AND SMULIKOWSKA, S. (2009) Chemical composition and nutritional value of different wheat cultivars for broiler chickens. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 18, 124-131
- BEDFORD, M.R., MORGAN, A.J. (1996): The use of enzymes in poultry diets. *World's Poultry Science Journal*, 52, 61-68
- BEDFORD, M. R., SCOTT, T. A., SILVERSIDES, F. G., CLASSEN, H. L., SWIFT, M. L., PACK, M. (1998): The effect of wheat cultivar, growing environment, and enzyme supplementation on digestibility of amino acids by broilers. *Canadian Journal of Animal Science*, 78, 335-342
- BIGGS, P., PARSONS, C. M. (2009): The effects of whole grains on nutrient digestibilities, growth performance, and cecal short-chain fatty acid concentrations in young chicks fed ground corn-soybean meal diets. *Poultry Science*, 88, 1893–1905
- BLOK, M.C., JANSMAN, A.J.M., MAKKINK, C.A. (2017): Amount and amino acid composition of basal endogenous protein losses at the terminal ileum of broilers. Wageningen Livestock Research, CVB documentation report 60, - 44
- BOGHUN, J., BAUMGÄRTEL, T., DIECKMANN, A., RODEHUTSCORD, M. (2009): Determination of titanium dioxide supplements in different matrices using two methods involving photometer and inductively coupled plasma optical emission spectrometer measurements. *Archives of Animal Nutrition* 63, 337 – 342
- BRYDEN, W. L., LI, X., RAVINDRAN, G., HEW L. I., RAVINDRAN, V. (2009): Ileal digestible amino acid values in feedstuffs for poultry. Rural Industries Research and Development Corporation, Australian government
- CHOCT, M., ANNISON, G. (1992): The inhibition of nutrient digestion by wheat pentosans. *British Journal of Nutrition*, 67, 123-132
- CHOCT, M., ANNISON, G., TRIMBLE, R.P. (1992): Soluble wheat pentosans exhibit different anti-nutritive activities in intact and cecectomized broiler chickens. *Journal of Nutrition*, 122, 2457-2465
- CHOCT, M., HUGHES, R. J., TRIMBLE, R. P., ANGKANAPORN, K., ANNISON, G. (1995): Non-starch polysaccharide-degrading enzymes increase performance of broiler chickens fed wheat of low apparent metabolizable energy. *Journal of Nutrition*, 125, 485-492

- CHOCT, M., HUGHES, R. J., ANNISON, G. (1996): Environmental factors influencing the nutritive quality of wheat for poultry. Proceedings Australian poultry science symposium, 205
- CHOCT, M., (1997): Non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. Feed Milling International, June, 13-19.
- COLLADO, M.C., SANZ, Y. (2007): Characterization of the gastrointestinal mucosa-associated microbiota of pigs and chickens using culture-based and molecular methodologies. Journal of food protection, 70, 2799-2804
- COWIESON, A.J., MASEY O'NEILL, H.V. (2013): Effects of exogenous xylanase on performance, nutrient digestibility and caecal thermal profiles of broilers given wheat-based diets. British Poultry Science, 54, 346-354
- DÄNICKE, S., VAHJEN, W., SIMON, O., JEROCH, H. (1999): Effects of dietary fat type and xylanase supplementation to rye-based broiler diets on selected bacterial groups adhering to the intestinal epithelium. on transit time of feed, and on nutrient digestibility. Poult Science, 78, 1292-1299
- DUSEL, G., KLUGE, H., GLÄSER, K., SIMON, O., HARTMANN, G., LENGERKEN, J. v., JEROCH, H. (1997): An investigation into variability of extract viscosity of wheat-relationship with the content of non-starch-polysaccharide fractions and metabolisable energy for broiler chickens. Archiv of Animal Nutrition, 50, 121-135
- DUSEL, G. (1998): Untersuchung zur Variabilität des Futterwertes von Weizen unter besonderer Berücksichtigung der Arabinoxylane sowie zur Wirksamkeit von Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP)-hydrolisierenden Enzymen in weizenbetonten Rationen beim Broiler und Ferkel. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- EBADI, M. R., POURREZA, J., ALLAMEH, A., EDRISS, M. A., MIRHADI, S. A., RAHMANI, H. R. (2007): Influence of caeca micro flora and tannin on true amino acid availability in grain sorghum cultivars. 16th European Symposium on Poultry Nutrition, Strasbourg, Frankreich
- ENGBERG, R. M., HEDEMANN, M. S., STEENFELDT, S., JENSEN, B. B. (2004): Influence of whole wheat and xylanase on broiler performance and microbial composition and activity in the digestive tract. Poultry Science, 83, 925-938
- ESMAEILIPOUR, O., MORAVEJ, H., SHIVAZAD, M., REZAIAN, M., AMINZADEH, S., VAN KRIMPEN, M.M. (2012): Effects of diet acidification and xylanase supplementation on performance, nutrient digestibility, duodenal histology and gut microflora of broilers fed wheat based diet. British Poultry Science, 53, 235-244
- EVONIK (2016): AminoDat<sup>®</sup>, Futtermittel-Datenbank
- FELDMANN, M. (2001): Origin of cultivated wheat. In: The world wheat book- a history of wheat breeding. BONJEAN, A., ANGUS, W. (Hrsg), Lavoisier Publishing, France, 3-56
- FAOSTAT (2018): Food and Agriculture Organization of the United Nations, [www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize](http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize), 08.03.2018

- FERRANDO, C., VERGARA, P., JIMÉNEZ M., GOÑALONS, E. (1987): Study of the rate of passage of food with chromium-mordanted plant cells in chickens (*Gallus gallus*). *Quarterly Journal of Experimental Physiology*, 72, 251-259
- FÖRSTER, D. (2003): Zum Einsatz von Nicht-Stärke-Polysaccharid (NSP)-hydrolysierenden Enzymen in der Legehennenfütterung. *Übersichten Tierernährung*, 31, 1-28
- GABRIEL, I., MALLET, S., LECONTE, M., TRAVEL, A., LALLES, J.P. (2008): Effects of whole wheat feeding on the development of the digestive tract of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 142, 144–162
- GANZER, C., KLUTH, H., RODEHUTSCORD, M. (2007): Effect of particle size on prececal digestibility on amino acids from maize and soybean meal in broilers. *Proceedings of the 16th European Symposium of Poultry Nutrition*, 459-462.
- GANZER, C. (2008): Methodische Aspekte bei der Bestimmung der praecaecalen Verdaulichkeit von Aminosäuren beim Broiler. *Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg*
- GARCIA, A. R., BATALLA, A. B., DALE, N. M. (2007): A comparison of methods to determine amino acid digestibility of feed ingredients for chickens. *Poultry Science*, 86, 94–101
- GARCÍA, V., CATALÁ, P., MADRID, J., ORENGO, J., HERNÁNDEZ, F. (2008): Polysaccharidase preparations added to a wheat-based diet: effects on performance and digestive parameters of broiler chickens held at three different locations. *British Poultry Science*, 49:2, 164-175
- GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (1999): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. 7. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). *DLG-Verlag, Frankfurt am Main*
- GOODARZI BOROOJENI, F., VAHJEN, W., MADER, A., KNORR, F., RUHNKE, I., RÖHE, I., HAFEEZ, A., VILLODRE, C., MÄNNER, K., ZENTEK, J. (2014): The effects of different thermal treatments and organic acid levels in feed on microbial composition and activity in gastrointestinal tract of broilers. *Poultry Science*, 93, 1440-1452
- GUTIERREZ DEL ALAMO, A., VERSTEGEN, M. W. A., DEN HARTOG, L. A., DE AYALA, P. P., VILLAMIDE, M. J. (2008): Effect of wheat cultivar and enzyme addition to broiler chicken diets on nutrient digestibility, performance, and apparent metabolizable energy content. *Poultry Science*, 87, 759-767
- HILL, K.J. (1971): The structure of the alimentary tract. In: *physiology and biochemistry of the domestic fowl*. BELL, D.J., FREEMAN, B.M. (Hrsg), Ausgabe 1, London Academic Press
- HETLAND, H., SVIHUS, B., OLAISEN, V. (2002): Effect of feeding whole cereals on performance, starch digestibility and duodenal particle size distribution in broiler chickens. *British Poultry Science*, 43, 416-423
- HETLAND, H., SVIHUS, B., CHOCT, M. (2005): Role of insoluble fiber on gizzard activity in layers. *Journal of Applied Poultry Research*, 14, 38-46.

- HUANG, K.H., RAVINDRAN, V., LI, X., BRYDEN, W.L. (2005): Influence of age on the apparent ileal amino acid digestibility of feed ingredients for broiler chickens. *British Poultry Science*, 46, 236-245
- HUANG, K.H., LI, X., RAVINDRAN, V., BRYDEN, W.L. (2006): Comparison of apparent ileal amino acid digestibility of feed ingredients measured with broilers, layers, and roosters. *Poultry Science*, 85, 625-634
- HUANG, K. H., RAVINDRAN, V., LI, X., RAVINDRAN, G., BRYDEN, W. L. (2007): Apparent ileal digestibility of amino acids in feed ingredients determined with broilers and layers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 47-53
- JANSMAN, A.J.M., SMINK, W., VAN LEEUWEN, P., RADEMACHER M. (2002): Evaluation through literature data of the amount of basal endogenous crude protein at the terminal ileum of pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 98, 49-60
- JEROCH, H., (1987): Geflügelfütterung. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin
- JEROCH, H. (2008): Körner und Samen. In: JEROCH, DROCHNER, SIMON (Hrsg.), 2. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- JEROCH, H., DROCHNER, W., SIMON, O. (2008): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere, 2. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- JEROCH, H. (2013): Futtermittel- und Futterzusatzstoffe. In: Geflügelernährung, JEROCH, SIMON, ZENTEK (Hrsg), 1. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- KADIM, I., MOUGHAN, P. (1997): Development of an ileal amino acid digestibility assay for the growing chicken - effects of time after feeding and site of sampling. *British Poultry Science* 38, 89-95
- KADIM, I., MOUGHAN, P., RAVINDRAN, V. (2002): Ileal amino acid digestibility assay for the growing meat chicken - comparison of ileal and excreta amino acid digestibility in the chicken. *British Poultry Science* 43, 588-597
- KASPRZAK, M.M., HOUDIJK, J.G.M., KIGHTLEY, S., OLUKOSI, O.A., WHITE, G.A., CARRE, P., WISEMAN, J. (2016): Effects of rapeseed variety and oil extraction method on the content and ileal digestibility of crude protein and amino acids in rapeseed cake and softly processed rapeseed meal fed to broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology Volume*, 213, 90-98
- KIM, E. J., CORZO, A. (2012): Interactive effects of age, sex, and strain on apparent ileal amino acid digestibility of soybean meal and an animal by-product blend in broilers. *Poultry Science* 91, 908-917
- KLUTH, H., MANTEI, M., ELWERT, C., RODEHUTSCORD, M. (2005a): Variation in precaecal amino acid and energy digestibility between pea (*Pisum sativum*) cultivars determined using a linear regression approach. *British Poultry Science*, 46, 325-332
- KLUTH, H., MEHLHORN, K., RODEHUTSCORD, M.(2005b): Studies on the intestine section to be sampled in broiler studies on precaecal amino acid digestibility. *Archiv of Animal Nutrition*, 59, 271-279

- KLUTH, H., FRICKE, M., RODEHUTSCORD, M. (2009): Precaecal amino acid digestibility of different wheat cultivars in broilers. *Archiv für Geflügelkunde*, 73, 80-86
- KLUTH, H., RODEHUTSCORD, M. (2009a): Standardisierte Futterbewertung auf der Basis der Aminosäurenverdaulichkeit beim Geflügel. *Übersichten Tierernährung*, 37, 1-26
- KLUTH, H., RODEHUTSCORD, M. (2009b): Effect of inclusion of cellulose in the diet on the inevitable endogenous amino acid losses in the ileum of broiler chickens. *Poultry Science*, 88, 1199-1205
- KLUTH, H., RODEHUTSCORD, M. (2010): Effect of the duration of prefeeding on amino acid digestibility of wheat distillers dried grains with solubles in broiler chicken. *Poultry Science* 89, 681-687
- KLUTH, H., BORMANN, T. (2014): Herausforderung in der Geflügelfütterung: Aktuelle Erkenntnisse zur Verdaulichkeit von Stärke und Aminosäuren. 13. BOKU-Symposium Tierernährung, Wien, Eigenverlag: Institut für Tierernährung, Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie der Universität für Bodenkultur Wien, 26 - 31
- KÖNIG, H.E., KORBEL, R., LIEBICH, H. (2009): Anatomie der Vögel-Klinische Aspekte und Propädeutik, Zier-, Greif-, Zoo-, Wildvögel und Wirtschaftsgeflügel, 2. Auflage, Schattauer Verlag, Stuttgart
- LEMME, A., RAVINDRAN, V., BRYDEN, W.L. (2004): Ileal digestibility of amino acid in feed ingredients for broilers. *World's Poultry Science Journal*, 60, 423-437
- MADRID, J., CATALÁ-GREGORI, P., GARCÍA, V., HERNÁNDEZ, F. (2010): Effect of a multienzyme complex in wheat-soybeanmeal diet on digestibility of broiler chickens under different rearing conditions. *Italian Journal of Animal Science*; 9, 1 – 5
- McDONALD, P. (2002): The digestion and metabolism of nutrients. In: *Animal nutrition*. McDONALD, EDWARDS, GREENHALGH, MORGAN, SINCLAIR, WILKINSON (Hrsg), Pearson Education Limited, Harlow, England
- McNAB, J. M. (1989): Measuring availability of amino acids from digestibility experiments. *Proceedings of the Seventh European Symposium on Poultry Nutrition*. *Worlds Poultry Science Association*. Girona, Spain, 45-53
- McNAB, J. M., (1993): Optimal use of enzymes for special ingredients. In: *Enzymes in animal nutrition*. WENK, C.; BOESSINGER, M., (Hrsg): Institut für Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, ETH-Zürich, Heft 11, 97 - 124.
- MOSS, A.F., SYDENHAM, C.J., KHODDAMI, A., NARANJO, V.D., YUNLIU, S., SELLE, P.H. (2018): Dietary starch influences growth performance, nutrient utilisation and digestive dynamics of protein and amino acids in broiler chickens offered low-protein diets. *Animal Feed Science and Technology*, 237, 55-67
- MULYANTINI, N.G.A., BRYDEN, W.L. (2010): The effect of enzyme supplementation on apparent ileal amino acid digestibility of broilers fed sorghum or wheat. *Animal Production*, 12, 169-174

- NAUMANN C., BASSLER R. (1976): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA Methodenbuch, Bd. III, 3. Auflage, 2. Ergänzungslieferung 1988 und 3. Ergänzungslieferung 1993. VDLUFA-Verlag, Darmstadt
- NIR, I., HILLEL, R., SHEFET, G., NITSAN, Z. (1994a): Effect of grain particle size on performance. 2. Grain texture interactions. *Poultry Science*, 73, 781-791
- NIR, I., SHEFET, G., AARONI, Y. (1994b): Effect of particle size on performance. 1. Corn. *Poultry Science*, 73, 45-49
- PAPE, H.-C. (1997) *Enzyme in der Tierernährung*. Arbeitsgemeinschaft für Wirkstoffe in der Tierernährung e.V. (Hrsg), Bonn
- PARSONS, A. S., BUCHANAN, N. P., BLEMINGS, K. P., WILSON, M. E., MORITZ, J. S. (2006): Effect of corn particle size and pellet texture on broiler performance in the growing phase. *Journal of Applied Poultry Research*, 15, 245–255
- PÉRON, A., BASTIANELLI, D., OURY, F.-X., GOMEZ, J., CARRÉ, B. (2005): Effects of food deprivation and particle size of ground wheat on digestibility of food components in broilers fed on a pelleted diet. *British Poultry Science*, 46, 223-230
- PETTERSSON, D., GRAHAM, H., ÅMAN, P. (1991): The nutritive value for broiler chickens of pelleting and enzyme supplementation of a diet containing barley, wheat and rye. *Animal Feed Science and Technology*, 33, 1-14
- PIRGOZLIEV, V., BRAVO, D., ROSE, S. P. (2014): Rearing conditions influence nutrient availability of plant extracts supplemented diets when fed to broiler chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 98, 667–671
- POURSELAMI, R., BATAL, A.B., JUNG, B., (2012): Effect of ileal sub-section and the method of collection of digesta on the determination of apparent ilealdigestibility of amino acids in poultry. *Animal Feed Science and Technology*, 177, 130–133.
- RAFUSE, J. L., SILVERSIDES, F. G., BEDFORD, M. R., SIMMINS, P. H. (2005): Effect of cultivar and enzyme supplementation on nutrient availability and performance of broilers fed Maritime Canadian wheat. *Canadian Journal of Animal Science*, 85, 493–499
- RAVINDRAN, V., ADEOLA, O., RODEHUTSCORD, M., KLUTH, H., VAN DER KLIS, J.D., VAN EERDEN, E., HELMBRECHT, A. (2017): Determination of ileal digestibility of amino acids in rawmaterials for broiler chickens – Results of collaborativestudies and assay recommendations. *Animal Feed Science and Technology*, 225, 62–72
- RAVINDRAN, V., BRYDEN, W.L. (1999): Amino acid availability in poultry - in vitro and in vivo measurements. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50, 889-908
- RAVINDRAN, V., SELLE, P., RAVINDRAN, G., MOREL, P., KIES, A., BRYDEN, W. (2001): Microbial phytase improves performance, apparent metabolizable energy, and ileal amino acid digestibility of broilers fed a lysine-deficient diet. *Poultry Science*, 80, 338-344
- RAVINDRAN, V. HEW, L. I. RAVINDRAN G., BRYDEN, W. L. (2005). Apparent ileal digestibility of amino acids in dietary ingredients for broiler chickens. *Animal Science*, 81, 85-97

- RAVINDRAN, V., ABDOLLAHI, M.R., BOOTWALLA, S.M. (2014): Nutrient analysis, metabolizable energy, and digestible amino acids of soybean meals of different origins for broilers. *Poultry Science*, 93, 2567-77
- REZVANI, M., H. KLUTH, C. ELWERT, RODEHUTSCORD, M. (2008). Effect of ileum segment and protein source on net disappearance of amino acids from the ileum of laying hens. *British Poultry Science*, 49, 28–36
- RITTESER, C. (2016): Bestimmung präcecaler Verdaulichkeitskoeffizienten für heimische Energie- und Proteinfuttermittel für die Bio-Hühnermast. Dissertation, Universität Hohenheim
- RODEHUTSCORD, M., KAPOCIUS, M., TIMMLER, R. AND DIECKMANN, A. (2004): Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens. *British Poultry Science*, 45, 85-92
- RODEHUTSCORD, M., RÜCKERT, C., MAURER, H.P., SCHENKEL, H., SCHIPPRACK, W., BACH KNUDSEN, K.E., SCHOLLENBERGER, M., LAUX, M., EKLUND, M., SIEGERT, W., MOSENTHIN, R. (2016): Variation in chemical composition and physical characteristics of cereal grains from different genotypes. *Archives of Animal Nutrition*, 70, 87-107
- ROUGIÈRE, N., GOMEZ, J., MIGNON-GRASTEAU, S., CARRÉ, B. (2009): Effects of diet particle size on digestive parameters in D+ and D– genetic chicken lines selected for divergent digestion efficiency. *Poultry Science*, 88, 1206–1215
- SAIF, Y. M., FADLY, A. M., GLISSON, J. R., MCDUGALD, L. R., NOLAN, L.K., SWAYNE, D.E. (2008): *Diseases of Poultry*. 12. Aufl., Verlag Wiley-Blackwell, Hoboken NJ
- SANDER, S. J.; BULLERMANN, J.; ARLINGHAUS, M.; VERSPOHL, J.; KAMPHUES, J. (2012): The influence of grinding intensity and compaction of diets on the microbial community in the gastrointestinal tract of young pigs. *Journal of animal science* 90, 16-18
- SANTOS, F. B. O., B. W. SHELDON, A. A. SANTOS u. P.R. FERKET (2008): Influence of Housing System, Grain Type and Particle Size on Salmonella Colonization and Shedding of Broiler Fed Triticale or Corn-Soybean Meal Diets. *Polutry Science* 87, S. 405-420
- SCHEELE, C.W., DEN DEKKER, F., VAN DER KLIS, J.D., KWAKERNAAK, C., ORSEL, R. (1995): Enzymes affecting the feeding value of wheat containing poultry diets. *Proc. 2nd Euro. Symp. Feed Enzymes*, Noordwijkerhout, Netherlands, 117-123.
- SCOTT, T. A., SILVERSIDES, F. G., ZIJLSTRA, R. T. (2003): Effect of pelleting and enzyme supplementation on variation in feed value of wheat-based diets fed to broiler chicks. *Canadian Journal of Animal Science*, 83, 257–263
- SELLE P.H., RAVINDRAN, V., RAVINDRAN, G., PITTOLO, P.H., BRYDEN, W.L. (2003): Influences of phytase and xylanase supplementation on growth performance and nutrient utilisation of broilers offered wheat-based diets. *Asian-Australian Journal Animal Science*, 16, 394-402

- SHAKOURI, M.D., IJI, P.A., MIKKELSEN, L.L., COWIESON, A.J. (2009): Intestinal function and gut microflora of broiler chickens as influenced by cereal grains and microbial enzyme supplementation. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.*, 93, 647-658
- SIMON, O., POLITZ, O., BORRISS, R., (1993): Improving the characteristics of bacterial  $\beta$ -glucanases by construction of hybrid enzymes. In: WENK, C.; BOESSINGER, M., (Hrsg): *Enzymes in Animal Nutrition*. Inst. Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, ETH-Zürich, Heft 11., 22 - 28.
- SIMON, O. (1994): Grundlagen des Enzymeinsatzes in der Tierernährung. 3. Tagung Schweine und Geflügelernährung, Halle (Saale), Wissenschaftliche Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 121 - 129
- SIMON, O., (1997): Einfluss von Nicht-Stärke-Polysacchariden (NSP) auf die Verdauung und Resorption bei Geflügelernährung und Schweinen. In: 4. Tagung Schweine und Geflügelernährung, Halle (Saale), Wissenschaftliche Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, 90 - 101.
- SIMON, O. (2008): Grundlagen der Ernährung. In: Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere, JEROCH, DROCHNER, SIMON (Hrsg.), 2. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- SIMON, A., ZENTEK, J. (2013): Ernährungsphysiologische Grundlagen. In: Geflügelernährung. JEROCH, H. SIMON, A., ZENTEK, J. (Hrsg.),. Eugen Ulmer KG, Stuttgart
- STEENFELDT, S., HAMMERSHØJ, M., MÜLLERTZ, A., JENSEN, J. F. (1998): Enzyme supplementation of wheat-based diets for broilers: 2. Effect on apparent metabolisable energy content and nutrient digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 75, 45-64
- STEENFELDT, S. (2001): The dietary effect of different wheat cultivars for broiler chickens. *British Poultry Science*, 42, 595–609
- STEENFELDT, S. GONZÁLEZ, E. BACH KNUDSEN, K. E. (2003): Effects of inclusion with blue lupins (*Lupinus angustifolius*) in broiler diets and enzyme supplementation on production performance, digestibility and dietary AME content. *Animal Feed Science and Technology*, 110, 185 – 200
- STEIN, H.H., SEVE, B., FULLER, M.F., MOUGHAN, P.J. AND C.F.M. DE LANGE, C.F.M. (2007): Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. *Journal Animal Science*, 85, 172-180
- SVIHUS, B. (2001): Research note: a consistent low starch digestibility observed in pelleted broiler chicken diets containing high levels of different wheat varieties. *Animal Feed Science and Technology*, 92, 45-49
- SVIHUS, B., HETLAND, H., CHOCT, M., SUNDBY, F. (2002): Passage rate through the anterior digestive tract of broiler chickens fed on diets with ground and whole wheat. *British Poultry Science*, 43, 662-668

- SVIHUS, B., KLOVSTAD, K.H., PEREZ, V., ZIMONJA, O., SAHLSTROM, S. AND SCHULLER, R.B. (2004): Physical and nutritional effects of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer mill. *Animal Feed Science and Technology*, 117, 281-293
- SVIHUS, B. (2011): The gizzard: function, influence of diet structure and effects on nutrient availability. *Worlds Poultry Science* 67, 207-224
- VAHJEN, W., GLÄSER, K., SCHÄFER, K. AND SIMON, O. (1998): Influence of xylanase-supplemented feed on the development of selected bacterial groups in the intestinal tract of broiler chicks. *Journal of Agricultural Science*, 130, 489-500
- VAN DER KLIS, J.D., VERSTEGEN, M.W., DE WIT, W. (1990): Absorption of minerals and retention time of dry matter in the gastrointestinal tract of broilers. *Poultry Science*, 69, 85-94
- VOLLMERHAUS, B. U., SINOWATZ, F. (2004): Verdauungsapparat. in: *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band V Anatomie der Vögel* VOLLMERHAUS, B. (Hrsg.), Parey Verlag, Stuttgart
- VON ENGELHARDT, W. (2010): Besonderheiten der Verdauung bei Vögeln in: *Physiologie der Haustiere*, VON ENGELHARDT, W. (Hrsg.), Verlag Enke, Stuttgart
- VON REICHENBACH, GRAF H. (2011): Der Kronenexpander – ein Ausweg aus dem Futterstruktur-Dilemma. Sonderdruck aus *Mühle + Mischfutter*, 148. Jahrgang, 8
- [www.pflanzenforschung.de/de/themen/pflanzen-im-fokus/weizen](http://www.pflanzenforschung.de/de/themen/pflanzen-im-fokus/weizen), 01.03.2018
- [www.wetter-bw.de/Internet/AM/NotesBwAM.nsf/bwwweb/85f6baa2d299db4ac1257ca7003d9ab9?OpenDocument&TableRow=3.1.2%2C3.6#3.1.](http://www.wetter-bw.de/Internet/AM/NotesBwAM.nsf/bwwweb/85f6baa2d299db4ac1257ca7003d9ab9?OpenDocument&TableRow=3.1.2%2C3.6#3.1.), 17.12.2018
- ZUBER, T., RODEHUTSCORD, M. (2016): Variability in amino acid digestibility of wheat grains from diverse genotypes examined in caeectomised laying hens. *European Poultry Science*, 80

## Anhang

Tabelle 24: Rohnährstoffe (g/kg TM) und essentielle Aminosäuren (%) der Versuchsmischungen aus Versuch 1 – 4

Sorte	Weizen %	XP	XL	XF	Stärke	Arg	Cys	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Trp	Val
KWS Erasmus	30	207	33	22	446	1,301	0,459	0,852	1,388	1,183	0,395	0,867	0,813	0,181	1,136
	70	254	38	29	375	1,507	0,532	0,986	1,641	1,293	0,440	1,059	0,904	0,218	1,285
Akteur	30	218	31	21	461	1,321	0,480	0,880	1,426	1,205	0,395	0,900	0,828	0,179	1,151
	70	274	37	34	368	1,546	0,567	1,046	1,758	1,312	0,460	1,150	0,959	0,241	1,341
Adler	30	217	34	25	440	1,362	0,480	0,896	1,470	1,251	0,405	0,920	0,850	0,183	1,195
	70	270	39	31	365	1,549	0,572	1,035	1,753	1,300	0,480	1,115	0,967	0,238	1,364
Tommi	30	221	28	23	450	1,404	0,449	0,922	1,541	1,257	0,430	0,963	0,899	0,184	1,232
	70	256	34	25	382	1,480	0,506	0,947	1,648	1,270	0,453	1,049	0,922	0,222	1,250
Frument	30	215	31	20	478	1,303	0,428	0,829	1,388	1,232	0,395	0,855	0,829	0,186	1,109
	70	245	35	30	375	1,412	0,487	0,934	1,581	1,289	0,446	0,998	0,888	0,225	1,231
Event	30	212	26	22	478	1,302	0,430	0,842	1,398	1,206	0,401	0,874	0,828	0,178	1,125
	70	254	34	31	385	1,470	0,508	0,949	1,609	1,265	0,452	1,033	0,907	0,221	1,240
JB Asano	30	207	24	17	542	1,316	0,415	0,898	1,411	1,221	0,388	0,899	0,822	0,178	1,226
	70	256	34	25	443	1,562	0,496	1,020	1,693	1,338	0,456	1,104	0,941	0,229	1,397
Skalmeje	30	205	23	18	545	1,272	0,408	0,865	1,389	1,217	0,394	0,872	0,830	0,172	1,204
	70	248	32	28	458	1,533	0,479	0,996	1,651	1,325	0,440	1,059	0,921	0,216	1,369
Brilliant	30	206	21	20	535	1,287	0,426	0,843	1,369	1,206	0,392	0,859	0,831	0,175	1,163
	70	250	27	31	447	1,514	0,483	0,982	1,634	1,303	0,444	1,051	0,921	0,217	1,343
Pamier	30	218	22	20	535	1,269	0,462	0,850	1,371	1,206	0,393	0,863	0,814	0,181	1,155
	70	252	30	31	449	1,508	0,524	0,965	1,607	1,315	0,455	1,031	0,909	0,220	1,311
Tabasco	30	202	21	20	538	1,263	0,436	0,846	1,353	1,196	0,384	0,849	0,801	0,172	1,152
	70	248	30	30	446	1,472	0,519	0,976	1,614	1,318	0,454	1,031	0,921	0,218	1,335
Hermann	30	209	17	19	546	1,261	0,437	0,851	1,372	1,175	0,375	0,870	0,807	0,170	1,145
	70	254	29	33	446	1,488	0,502	0,960	1,615	1,276	0,442	1,042	0,923	0,217	1,302

Tabelle 25: Rohnährstoffe (g/kg TM) und essentielle Aminosäuren (%) der Versuchsmischungen aus Versuch 5 – 8

Versuch	Variante	Weizen %	XP	XL	XF	Arg	Cys	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Trp	Val	
5 Alter, Abschnitt	I	-	70	253	28	34	1,526	0,498	1,037	1,726	1,323	0,462	1,126	0,945	n.a.	1,392
	II	+	70	258	27	31	1,477	0,466	1,008	1,656	1,271	0,440	1,087	0,911	n.a.	1,348
6 Aufstallungs-ort	I		30	215	35	22	1,297	0,435	0,864	1,378	1,232	0,397	0,865	0,811	0,185	1,195
	II		50	234	37	23	1,356	0,469	0,906	1,485	1,253	0,408	0,953	0,854	0,213	1,240
	III		70	254	36	32	1,475	0,518	0,969	1,631	1,300	0,439	1,050	0,921	0,220	1,329
7 Enzymvor-fütterung	Starter	-		241	65	64	1,474	0,402	0,923	1,797	1,252	0,432	1,117	0,799	0,279	1,076
	Starter	+		247	68	60	1,510	0,385	0,935	1,768	1,298	0,433	1,125	0,763	0,280	1,166
	I	-	30	208	29	20	1,353	0,475	0,911	1,473	1,250	0,403	0,950	0,810	0,173	1,229
	II	-	70	253	35	31	1,489	0,513	0,998	1,661	1,284	0,455	1,083	0,907	0,213	1,363
	III	+	30	204	29	17	1,333	0,450	0,873	1,395	1,278	0,413	0,881	0,824	0,171	1,226
	IV	+	70	260	37	33	1,477	0,502	0,985	1,668	1,241	0,437	1,087	0,921	0,222	1,333
8 Struktur	I		30	205	30	26	1,237	0,428	0,858	1,327	1,240	0,392	0,836	0,819	0,178	1,202
	II		50	226	32	20	1,361	0,477	0,946	1,472	1,276	0,431	0,936	0,899	0,198	1,307
	III		70	248	33	22	1,477	0,517	1,027	1,620	1,373	0,458	1,046	0,954	0,223	1,423
	IV		30	217	31	23	1,282	0,451	0,903	1,387	1,280	0,412	0,871	0,880	0,177	1,265
	V		50	227	34	19	1,399	0,487	0,979	1,524	1,320	0,458	0,974	0,943	0,204	1,363
	VI		70	239	37	27	1,322	0,502	0,967	1,571	1,237	0,448	1,017	0,920	0,216	1,332

n.a. = nicht analysiert

## Anhang

Tabelle 26: gemessene Enzymaktivität der  
Versuche 1 - 4, 5 und 7

Versuch	Variante	Aktivität FAXU/kg
1	GM	<500
	GM + E	20000
2	GM	<500
	GM + E	16400
3	I	<500
	II	<500
	III	<500
	IV	<500
	V	<500
	VI	<500
	VII + E	18800
	VIII + E	19600
	IX + E	17500
	X + E	18400
	XI + E	18700
	XII + E	18300
4	I	<500
	II	<500
	III	<500
	IV	<500
	V	<500
	VI	<500
	VII + E	19300
	VIII + E	17300
	IX + E	18300
	X + E	18000
	XI + E	16600
	XII + E	18300
5	I	1000
	II	20100
7	Starter	<500
	Starter + E	17200
7	I	<500
	II	<500
	III + E	17100
	IV + E	15300

Tabelle 27: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , SE, r<sup>2</sup>) des ersten Versuchs

Sorte	KWS Erasmus		KWS Erasmus + E		Akteur		Akteur + E		Adler		Adler + E		<i>p</i>		
	1		2		3		4		5		6		1 zu 2	3 zu 4	5 zu 6
Rohprotein	<b>86</b>	±2,8 0,99	<b>91</b>	±2,2 0,99	<b>87</b>	±2,3 0,99	<b>90</b>	±2,5 0,99	<b>88</b>	±2,8 0,99	<b>92</b>	±1,7 1,00	0,173	0,451	0,245
Alanin	<b>79</b>	±4,8 0,97	<b>87</b>	±3,7 0,98	<b>79</b>	±4,4 0,97	<b>84</b>	±4,4 0,97	<b>80</b>	±5,9 0,95	<b>85</b>	±3,4 0,98	0,204	0,476	0,401
Arginin	<b>88</b>	±2,5 0,99	<b>93</b>	±2,1 0,99	<b>87</b>	±2,7 0,99	<b>91</b>	±2,5 0,99	<b>91</b>	±3,2 0,99	<b>93</b>	±1,6 1,00	0,213	0,363	0,656
Asparagin	<b>76</b>	±4,6 0,96	<b>84</b>	±4,1 0,98	<b>76</b>	±4,3 0,97	<b>82</b>	±5,0 0,96	<b>77</b>	±6,7 0,93	<b>83</b>	±4,0 0,98	0,204	0,426	0,424
Cystin	<b>84</b>	±4,6 0,97	<b>89</b>	±2,4 0,99	<b>85</b>	±3,0 0,99	<b>88</b>	±3,3 0,99	<b>85</b>	±4,1 0,98	<b>90</b>	±2,0 0,99	0,331	0,497	0,292
Glutamin	<b>93</b>	±1,8 1,00	<b>96</b>	±1,2 1,00	<b>94</b>	±1,1 1,00	<b>96</b>	±1,0 1,00	<b>94</b>	±1,4 1,00	<b>97</b>	±0,8 1,00	0,158	0,259	0,153
Glycin	<b>77</b>	±4,3 0,97	<b>86</b>	±3,2 0,99	<b>81</b>	±3,0 0,99	<b>84</b>	±3,6 0,98	<b>80</b>	±4,7 0,97	<b>86</b>	±2,4 0,99	0,117	0,505	0,212
Isoleucin	<b>89</b>	±2,8 0,99	<b>92</b>	±2,4 0,99	<b>87</b>	±3,4 0,98	<b>90</b>	±2,8 0,99	<b>90</b>	±3,5 0,98	<b>93</b>	±1,8 1,00	0,336	0,408	0,415
Leucin	<b>85</b>	±3,6 0,98	<b>92</b>	±2,9 0,99	<b>88</b>	±3,3 0,99	<b>92</b>	±3,1 0,99	<b>89</b>	±3,5 0,98	<b>92</b>	±2,2 0,99	0,198	0,389	0,505
Lysin	<b>91</b>	±4,2 0,98	<b>93</b>	±3,0 0,99	<b>88</b>	±5,4 0,96	<b>92</b>	±4,7 0,97	<b>95</b>	±4,6 0,98	<b>94</b>	±2,9 0,99	0,660	0,561	0,995
Methionin	<b>92</b>	±3,6 0,98	<b>93</b>	±2,7 0,99	<b>88</b>	±4,0 0,98	<b>92</b>	±2,8 0,99	<b>92</b>	±3,1 0,99	<b>94</b>	±1,5 1,00	0,809	0,387	0,532
Phenylalanin	<b>86</b>	±3,1 0,99	<b>92</b>	±2,3 0,99	<b>89</b>	±2,5 0,99	<b>91</b>	±2,2 0,99	<b>89</b>	±3,4 0,98	<b>92</b>	±1,9 1,00	0,138	0,404	0,359
Prolin	<b>91</b>	±2,2 0,99	<b>94</b>	±1,8 1,00	<b>92</b>	±1,1 1,00	<b>95</b>	±1,7 1,00	<b>92</b>	±1,6 1,00	<b>96</b>	±1,5 1,00	0,199	0,287	0,075
Serin	<b>84</b>	±4,0 0,98	<b>91</b>	±3,0 0,99	<b>88</b>	±2,8 0,99	<b>91</b>	±2,9 0,99	<b>87</b>	±3,5 0,98	<b>91</b>	±2,0 0,99	0,208	0,502	0,328
Threonin	<b>85</b>	±5,2 0,96	<b>90</b>	±4,2 0,98	<b>84</b>	±5,4 0,96	<b>89</b>	±4,3 0,98	<b>86</b>	±4,8 0,97	<b>89</b>	±3,2 0,99	0,474	0,492	0,611
Tryptophan	<b>76</b>	±5,5 0,95	<b>86</b>	±3,2 0,99	<b>79</b>	±2,9 0,99	<b>85</b>	±2,6 0,99	<b>78</b>	±3,9 0,98	<b>86</b>	±2,3 0,99	0,111	0,208	0,094
Valin	<b>89</b>	±3,6 0,98	<b>92</b>	±2,8 0,99	<b>86</b>	±4,2 0,98	<b>90</b>	±3,0 0,99	<b>90</b>	±3,7 0,98	<b>92</b>	±2,3 0,99	0,453	0,408	0,571

Tabelle 28: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , SE, r<sup>2</sup>) des ersten Versuchs ohne Enzymzusatz

Weizen	KWS Erasmus			Akteur			Adler			<i>p</i>		
	1			2			3			1 zu 2	1 zu 3	2 zu 3
Rohprotein	<b>86</b>	±2,8	0,99	<b>87</b>	±2,3	0,99	<b>88</b>	±2,8	0,99	0,731	0,578	0,791
Alanin	<b>79</b>	±4,8	0,97	<b>79</b>	±4,4	0,97	<b>80</b>	±5,9	0,95	0,979	0,899	0,915
Arginin	<b>88</b>	±2,5	0,99	<b>87</b>	±2,7	0,99	<b>91</b>	±3,2	0,99	0,787	0,462	0,357
Asparagin	<b>76</b>	±4,6	0,96	<b>76</b>	±4,3	0,97	<b>77</b>	±6,7	0,93	0,905	0,892	0,967
Cystin	<b>84</b>	±4,6	0,97	<b>85</b>	±3,0	0,99	<b>85</b>	±4,1	0,98	0,934	0,895	0,946
Glutamin	<b>93</b>	±1,8	1,00	<b>94</b>	±1,1	1,00	<b>94</b>	±1,4	1,00	0,600	0,558	0,891
Glycin	<b>77</b>	±4,3	0,97	<b>81</b>	±3,0	0,99	<b>80</b>	±4,7	0,97	0,526	0,672	0,910
Isoleucin	<b>89</b>	±2,8	0,99	<b>87</b>	±3,4	0,98	<b>90</b>	±3,5	0,98	0,648	0,810	0,534
Leucin	<b>85</b>	±3,6	0,98	<b>88</b>	±3,3	0,99	<b>89</b>	±3,5	0,98	0,645	0,493	0,805
Lysin	<b>91</b>	±4,2	0,98	<b>88</b>	±5,4	0,96	<b>95</b>	±4,6	0,98	0,642	0,580	0,363
Methionin	<b>92</b>	±3,6	0,98	<b>88</b>	±4,0	0,98	<b>92</b>	±3,1	0,99	0,462	0,998	0,438
Phenylalanin	<b>86</b>	±3,1	0,99	<b>89</b>	±2,5	0,99	<b>89</b>	±3,4	0,98	0,593	0,644	0,997
Prolin	<b>91</b>	±2,2	0,99	<b>92</b>	±1,1	1,00	<b>92</b>	±1,6	1,00	0,451	0,638	0,783
Serin	<b>84</b>	±4,0	0,98	<b>88</b>	±2,8	0,99	<b>87</b>	±3,5	0,98	0,482	0,588	0,908
Threonin	<b>85</b>	±5,2	0,96	<b>84</b>	±5,4	0,96	<b>86</b>	±4,8	0,97	0,942	0,807	0,758
Tryptophan	<b>76</b>	±5,5	0,95	<b>79</b>	±2,9	0,99	<b>78</b>	±3,9	0,98	0,526	0,691	0,807
Valin	<b>89</b>	±3,6	0,98	<b>86</b>	±4,2	0,98	<b>90</b>	±3,7	0,98	0,654	0,815	0,516

Tabelle 29: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , SE, r<sup>2</sup>) des ersten Versuchs mit Enzymzusatz

Weizen	KWS Erasmus			Akteur			Adler			<i>p</i>		
	+ E			+ E			+ E					
	1			2			3			1 zu 2	1 zu 3	2 zu 3
Rohprotein	<b>91</b>	±2,2	0,99	<b>90</b>	±2,5	0,99	<b>92</b>	±1,7	1,00	0,730	0,715	0,469
Alanin	<b>87</b>	±3,7	0,98	<b>84</b>	±4,4	0,97	<b>85</b>	±3,4	0,98	0,585	0,795	0,738
Arginin	<b>93</b>	±2,1	0,99	<b>91</b>	±2,5	0,99	<b>93</b>	±1,6	1,00	0,594	0,876	0,466
Asparagin	<b>84</b>	±4,1	0,98	<b>82</b>	±5,0	0,96	<b>83</b>	±4,0	0,98	0,758	0,883	0,857
Cystin	<b>89</b>	±2,4	0,99	<b>88</b>	±3,3	0,99	<b>90</b>	±2,0	0,99	0,723	0,867	0,606
Glutamin	<b>96</b>	±1,2	1,00	<b>96</b>	±1,0	1,00	<b>97</b>	±0,8	1,00	0,856	0,680	0,515
Glycin	<b>86</b>	±3,2	0,99	<b>84</b>	±3,6	0,98	<b>86</b>	±2,4	0,99	0,656	0,893	0,529
Isoleucin	<b>92</b>	±2,4	0,99	<b>90</b>	±2,8	0,99	<b>93</b>	±1,8	1,00	0,585	0,831	0,423
Leucin	<b>92</b>	±2,9	0,99	<b>92</b>	±3,1	0,99	<b>92</b>	±2,2	0,99	0,972	0,980	0,981
Lysin	<b>93</b>	±3,0	0,99	<b>92</b>	±4,7	0,97	<b>94</b>	±2,9	0,99	0,805	0,973	0,638
Methionin	<b>93</b>	±2,7	0,99	<b>92</b>	±2,8	0,99	<b>94</b>	±1,5	1,00	0,822	0,730	0,538
Phenylalanin	<b>92</b>	±2,3	0,99	<b>91</b>	±2,2	0,99	<b>92</b>	±1,9	1,00	0,783	0,918	0,839
Prolin	<b>94</b>	±1,8	1,00	<b>95</b>	±1,7	1,00	<b>96</b>	±1,5	1,00	0,887	0,452	0,525
Serin	<b>91</b>	±3,0	0,99	<b>91</b>	±2,9	0,99	<b>91</b>	±2,0	0,99	0,949	0,916	0,854
Threonin	<b>90</b>	±4,2	0,98	<b>89</b>	±4,3	0,98	<b>89</b>	±3,2	0,99	0,920	0,969	0,940
Tryptophan	<b>86</b>	±3,2	0,99	<b>85</b>	±2,6	0,99	<b>86</b>	±2,3	0,99	0,745	0,973	0,677
Valin	<b>92</b>	±2,8	0,99	<b>90</b>	±3,0	0,99	<b>92</b>	±2,3	0,99	0,663	0,954	0,597

Tabelle 30: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , SE, r<sup>2</sup>) des zweiten Versuchs

Sorte	Tommi		Tommi + E		Frument		Frument + E		Event		Event + E		<i>p</i>		
	1		2		3		4		5		6		1 zu 2	3 zu 4	5 zu 6
Rohprotein	<b>88</b> ±1,8	0,99	<b>87</b> ±1,6	0,99	<b>90</b> ±2,4	0,99	<b>87</b> ±2,1	0,99	<b>84</b> ±2,8	0,99	<b>89</b> ±1,0	1,00	0,594	0,255	0,095
Alanin	<b>76</b> ±5,6	0,95	<b>74</b> ±3,6	0,98	<b>83</b> ±2,9	0,99	<b>71</b> ±3,3	0,98	<b>76</b> ±3,6	0,98	<b>75</b> ±2,1	0,99	0,728	0,013	0,757
Arginin	<b>93</b> ±3,0	0,99	<b>89</b> ±1,5	1,00	<b>91</b> ±2,5	0,99	<b>88</b> ±2,7	0,99	<b>88</b> ±1,1	1,00	<b>90</b> ±1,8	0,99	0,235	0,496	0,572
Asparagin	<b>83</b> ±7,0	0,94	<b>73</b> ±3,1	0,98	<b>83</b> ±2,5	0,99	<b>69</b> ±4,8	0,95	<b>75</b> ±3,3	0,98	<b>73</b> ±2,5	0,99	0,162	0,013	0,770
Cystin	<b>86</b> ±3,0	0,99	<b>86</b> ±1,2	1,00	<b>88</b> ±1,9	0,99	<b>83</b> ±2,5	0,99	<b>84</b> ±1,7	0,99	<b>86</b> ±1,0	1,00	0,899	0,135	0,269
Glutamin	<b>94</b> ±1,0	1,00	<b>94</b> ±0,6	1,00	<b>95</b> ±0,9	1,00	<b>93</b> ±1,0	1,00	<b>93</b> ±0,7	1,00	<b>94</b> ±0,6	1,00	0,756	0,079	0,359
Glycin	<b>79</b> ±4,7	0,97	<b>77</b> ±2,6	0,99	<b>84</b> ±2,0	0,99	<b>75</b> ±2,4	0,99	<b>78</b> ±2,7	0,99	<b>78</b> ±1,9	0,99	0,684	0,016	0,957
Isoleucin	<b>90</b> ±3,2	0,99	<b>86</b> ±2,1	0,99	<b>90</b> ±2,1	0,99	<b>86</b> ±1,7	0,99	<b>85</b> ±1,8	0,99	<b>87</b> ±1,4	1,00	0,297	0,139	0,439
Leucin	<b>88</b> ±3,3	0,99	<b>84</b> ±2,1	0,99	<b>88</b> ±2,3	0,99	<b>82</b> ±2,1	0,99	<b>85</b> ±2,1	0,99	<b>85</b> ±1,4	1,00	0,411	0,063	0,896
Lysin	<b>92</b> ±3,3	0,99	<b>87</b> ±2,2	0,99	<b>92</b> ±2,7	0,99	<b>86</b> ±3,0	0,99	<b>87</b> ±1,7	0,99	<b>89</b> ±3,0	0,99	0,247	0,193	0,550
Methionin	<b>92</b> ±2,1	0,99	<b>90</b> ±2,0	0,99	<b>94</b> ±2,5	0,99	<b>90</b> ±1,5	1,00	<b>91</b> ±1,5	0,99	<b>92</b> ±1,4	0,99	0,533	0,203	0,598
Phenylalanin	<b>89</b> ±2,9	0,99	<b>86</b> ±1,7	0,99	<b>89</b> ±1,8	0,99	<b>84</b> ±2,0	0,99	<b>86</b> ±1,7	0,99	<b>86</b> ±1,3	1,00	0,449	0,061	0,972
Prolin	<b>93</b> ±1,3	1,00	<b>92</b> ±1,0	1,00	<b>93</b> ±1,0	1,00	<b>90</b> ±1,3	1,00	<b>91</b> ±1,1	1,00	<b>92</b> ±0,8	1,00	0,614	0,054	0,542
Serin	<b>85</b> ±3,2	0,99	<b>83</b> ±2,0	0,99	<b>86</b> ±2,0	0,99	<b>79</b> ±2,7	0,99	<b>84</b> ±2,1	0,99	<b>83</b> ±1,3	1,00	0,671	0,044	0,805
Threonin	<b>88</b> ±4,5	0,98	<b>81</b> ±2,7	0,99	<b>87</b> ±3,0	0,99	<b>79</b> ±3,5	0,98	<b>82</b> ±2,4	0,99	<b>81</b> ±2,0	0,99	0,179	0,102	0,885
Tryptophan	<b>82</b> ±2,2	0,99	<b>77</b> ±2,5	0,99	<b>86</b> ±2,4	0,99	<b>79</b> ±2,9	0,99	<b>80</b> ±2,3	0,99	<b>81</b> ±1,6	0,99	0,166	0,094	0,831
Valin	<b>92</b> ±3,5	0,99	<b>86</b> ±2,3	0,99	<b>90</b> ±2,3	0,99	<b>85</b> ±1,9	0,99	<b>85</b> ±1,8	0,99	<b>86</b> ±1,8	0,99	0,179	0,149	0,734

Tabelle 31: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , *SE*, *r*<sup>2</sup>) des zweiten Versuchs ohne Enzymzusatz

Weizen	Tommi			Frument			Event			<i>p</i>		
	1			2			3			1 zu 2	1 zu 3	2 zu 3
Rohprotein	<b>88</b>	±1,8	0,99	<b>90</b>	±2,4	0,99	<b>84</b>	±2,8	0,99	0,498	0,229	0,104
Alanin	<b>76</b>	±5,6	0,95	<b>83</b>	±2,9	0,99	<b>76</b>	±3,6	0,98	0,280	1,000	0,176
Arginin	<b>93</b>	±3,0	0,99	<b>91</b>	±2,5	0,99	<b>88</b>	±1,1	1,00	0,569	0,143	0,392
Asparagin	<b>83</b>	±7,0	0,94	<b>83</b>	±2,5	0,99	<b>75</b>	±3,3	0,98	0,939	0,255	0,069
Cystin	<b>86</b>	±3,0	0,99	<b>88</b>	±1,9	0,99	<b>84</b>	±1,7	0,99	0,499	0,481	0,079
Glutamin	<b>94</b>	±1,0	1,00	<b>95</b>	±0,9	1,00	<b>93</b>	±0,7	1,00	0,319	0,511	0,075
Glycin	<b>79</b>	±4,7	0,97	<b>84</b>	±2,0	0,99	<b>78</b>	±2,7	0,99	0,357	0,830	0,115
Isoleucin	<b>90</b>	±3,2	0,99	<b>90</b>	±2,1	0,99	<b>85</b>	±1,8	0,99	1,000	0,179	0,089
Leucin	<b>88</b>	±3,3	0,99	<b>88</b>	±2,3	0,99	<b>85</b>	±2,1	0,99	0,844	0,526	0,316
Lysin	<b>92</b>	±3,3	0,99	<b>92</b>	±2,7	0,99	<b>87</b>	±1,7	0,99	0,954	0,206	0,136
Methionin	<b>92</b>	±2,1	0,99	<b>94</b>	±2,5	0,99	<b>91</b>	±1,5	0,99	0,533	0,516	0,197
Phenylalanin	<b>89</b>	±2,9	0,99	<b>89</b>	±1,8	0,99	<b>86</b>	±1,7	0,99	0,824	0,482	0,235
Prolin	<b>93</b>	±1,3	1,00	<b>93</b>	±1,0	1,00	<b>91</b>	±1,1	1,00	0,611	0,258	0,075
Serin	<b>85</b>	±3,2	0,99	<b>86</b>	±2,0	0,99	<b>84</b>	±2,1	0,99	0,606	0,875	0,403
Threonin	<b>88</b>	±4,5	0,98	<b>87</b>	±3,0	0,99	<b>82</b>	±2,4	0,99	0,858	0,197	0,162
Tryptophan	<b>82</b>	±2,2	0,99	<b>86</b>	±2,4	0,99	<b>80</b>	±2,3	0,99	0,224	0,603	0,095
Valin	<b>92</b>	±3,5	0,99	<b>90</b>	±2,3	0,99	<b>85</b>	±1,8	0,99	0,642	0,099	0,124

Tabelle 32: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , SE, r<sup>2</sup>) des zweiten Versuchs mit Enzymzusatz

Weizen	Tommi + E			Frument + E			Event + E			<i>p</i>		
	1	2	3	1 zu 2	1 zu 3	2 zu 3						
Rohprotein	<b>87</b> ±1,6 0,99	<b>87</b> ±2,1 0,99	<b>89</b> ±1,0 1,00	0,899	0,273	0,276						
Alanin	<b>74</b> ±3,6 0,98	<b>71</b> ±3,3 0,98	<b>75</b> ±2,1 0,99	0,524	0,868	0,303						
Arginin	<b>89</b> ±1,5 1,00	<b>88</b> ±2,7 0,99	<b>90</b> ±1,8 0,99	0,755	0,818	0,650						
Asparagin	<b>73</b> ±3,1 0,98	<b>69</b> ±4,8 0,95	<b>73</b> ±2,5 0,99	0,468	0,877	0,372						
Cystin	<b>86</b> ±1,2 1,00	<b>83</b> ±2,5 0,99	<b>86</b> ±1,0 1,00	0,441	0,826	0,355						
Glutamin	<b>94</b> ±0,6 1,00	<b>93</b> ±1,0 1,00	<b>94</b> ±0,6 1,00	0,524	0,594	0,304						
Glycin	<b>77</b> ±2,6 0,99	<b>75</b> ±2,4 0,99	<b>78</b> ±1,9 0,99	0,644	0,814	0,424						
Isoleucin	<b>86</b> ±2,1 0,99	<b>86</b> ±1,7 0,99	<b>87</b> ±1,4 1,00	0,942	0,721	0,612						
Leucin	<b>84</b> ±2,1 0,99	<b>82</b> ±2,1 0,99	<b>85</b> ±1,4 1,00	0,431	0,890	0,272						
Lysin	<b>87</b> ±2,2 0,99	<b>86</b> ±3,0 0,99	<b>89</b> ±3,0 0,99	0,869	0,598	0,547						
Methionin	<b>90</b> ±2,0 0,99	<b>90</b> ±1,5 1,00	<b>92</b> ±1,4 0,99	0,960	0,612	0,573						
Phenylalanin	<b>86</b> ±1,7 0,99	<b>84</b> ±2,0 0,99	<b>86</b> ±1,3 1,00	0,421	0,956	0,327						
Prolin	<b>92</b> ±1,0 1,00	<b>90</b> ±1,3 1,00	<b>92</b> ±0,8 1,00	0,318	0,823	0,370						
Serin	<b>83</b> ±2,0 0,99	<b>79</b> ±2,7 0,99	<b>83</b> ±1,3 1,00	0,292	0,908	0,188						
Threonin	<b>81</b> ±2,7 0,99	<b>79</b> ±3,5 0,98	<b>81</b> ±2,0 0,99	0,679	0,979	0,633						
Tryptophan	<b>77</b> ±2,5 0,99	<b>79</b> ±2,9 0,99	<b>81</b> ±1,6 0,99	0,556	0,230	0,672						
Valin	<b>86</b> ±2,3 0,99	<b>85</b> ±1,9 0,99	<b>86</b> ±1,8 0,99	0,831	0,995	0,791						

Tabelle 33: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , SE, r<sup>2</sup>) des dritten Versuchs

Sorte	JB Asano		JB Asano + E		Skalmeje		Skalmeje + E		Brilliant		Brilliant + E		<i>p</i>		
	1		2		3		4		5		6		1 zu 2	3 zu 4	5 zu 6
Rohprotein	<b>88</b>	±2,5 0,99	<b>89</b>	±2,0 0,99	<b>90</b>	±3,9 0,98	<b>89</b>	±1,7 1,00	<b>91</b>	±1,9 0,99	<b>90</b>	±1,9 0,99	0,887	0,811	0,883
Alanin	<b>82</b>	±3,9 0,98	<b>83</b>	±3,5 0,98	<b>86</b>	±6,9 0,94	<b>84</b>	±2,6 0,99	<b>88</b>	±2,9 0,99	<b>85</b>	±3,3 0,98	0,825	0,869	0,638
Arginin	<b>90</b>	±2,1 0,99	<b>91</b>	±1,6 1,00	<b>93</b>	±3,5 0,99	<b>92</b>	±1,4 1,00	<b>92</b>	±1,4 1,00	<b>92</b>	±1,8 1,00	0,765	0,833	0,956
Asparagin	<b>78</b>	±4,5 0,97	<b>81</b>	±3,3 0,98	<b>84</b>	±7,3 0,93	<b>83</b>	±2,8 0,99	<b>85</b>	±3,1 0,99	<b>83</b>	±3,7 0,98	0,675	0,967	0,729
Cystin	<b>82</b>	±2,5 0,99	<b>81</b>	±2,5 0,99	<b>86</b>	±4,7 0,97	<b>82</b>	±2,4 0,99	<b>86</b>	±2,6 0,99	<b>84</b>	±2,8 0,99	0,824	0,471	0,623
Glutamin	<b>94</b>	±1,5 1,00	<b>95</b>	±0,8 1,00	<b>96</b>	±1,9 1,00	<b>95</b>	±1,0 1,00	<b>96</b>	±1,1 1,00	<b>96</b>	±1,0 1,00	0,642	0,803	0,861
Glycin	<b>81</b>	±3,5 0,98	<b>82</b>	±2,8 0,99	<b>84</b>	±5,9 0,95	<b>83</b>	±2,0 0,99	<b>87</b>	±2,6 0,99	<b>85</b>	±2,5 0,99	0,774	0,887	0,600
Isoleucin	<b>91</b>	±2,8 0,99	<b>90</b>	±2,8 0,99	<b>94</b>	±4,3 0,98	<b>91</b>	±2,1 0,99	<b>94</b>	±2,0 0,99	<b>92</b>	±2,3 0,99	0,774	0,556	0,656
Leucin	<b>90</b>	±2,4 0,99	<b>90</b>	±1,9 0,99	<b>93</b>	±4,4 0,98	<b>93</b>	±2,2 0,99	<b>93</b>	±1,8 1,00	<b>93</b>	±1,8 1,00	0,941	0,884	0,982
Lysin	<b>91</b>	±2,5 0,99	<b>90</b>	±3,2 0,99	<b>96</b>	±4,7 0,98	<b>93</b>	±2,4 0,99	<b>94</b>	±2,1 0,99	<b>94</b>	±2,2 0,99	0,843	0,578	0,993
Methionin	<b>94</b>	±2,0 0,99	<b>91</b>	±2,4 0,99	<b>96</b>	±4,0 0,98	<b>94</b>	±2,1 0,99	<b>95</b>	±1,7 1,00	<b>95</b>	±1,9 1,00	0,431	0,718	0,991
Phenylalanin	<b>90</b>	±2,6 0,99	<b>90</b>	±1,7 1,00	<b>92</b>	±3,8 0,98	<b>91</b>	±1,6 1,00	<b>93</b>	±1,8 1,00	<b>92</b>	±2,0 0,99	0,862	0,851	0,892
Prolin	<b>93</b>	±1,8 1,00	<b>93</b>	±1,1 1,00	<b>94</b>	±2,3 0,99	<b>93</b>	±1,1 1,00	<b>95</b>	±1,3 1,00	<b>94</b>	±1,0 1,00	0,772	0,650	0,708
Serin	<b>87</b>	±3,1 0,99	<b>89</b>	±2,3 0,99	<b>90</b>	±5,8 0,96	<b>89</b>	±2,4 0,99	<b>91</b>	±2,3 0,99	<b>91</b>	±2,2 0,99	0,685	0,863	0,936
Threonin	<b>86</b>	±3,2 0,99	<b>85</b>	±3,9 0,99	<b>91</b>	±6,9 0,95	<b>87</b>	±3,6 0,98	<b>89</b>	±2,8 0,99	<b>89</b>	±2,6 0,99	0,806	0,651	0,817
Tryptophan	<b>82</b>	±2,9 0,99	<b>83</b>	±2,5 0,99	<b>86</b>	±5,1 0,97	<b>84</b>	±2,8 0,99	<b>86</b>	±3,0 0,99	<b>85</b>	±2,5 0,99	0,697	0,735	0,883
Valin	<b>90</b>	±2,6 0,99	<b>89</b>	±2,8 0,99	<b>94</b>	±4,6 0,98	<b>91</b>	±2,3 0,99	<b>93</b>	±1,8 1,00	<b>92</b>	±2,3 0,99	0,822	0,638	0,931

Tabelle 34: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , SE, r<sup>2</sup>) des dritten Versuchs ohne Enzymzusatz

Weizen	JB Asano			Skalmeje			Brilliant			<i>p</i>		
	1			2			3			1 zu 2	1 zu 3	2 zu 3
Rohprotein	<b>88</b>	±2,5	0,99	<b>90</b>	±3,9	0,98	<b>91</b>	±1,9	0,99	0,720	0,434	0,840
Alanin	<b>82</b>	±3,9	0,98	<b>86</b>	±6,9	0,94	<b>88</b>	±2,9	0,99	0,613	0,231	0,775
Arginin	<b>90</b>	±2,1	0,99	<b>93</b>	±3,5	0,99	<b>92</b>	±1,4	1,00	0,448	0,351	0,841
Asparagin	<b>78</b>	±4,5	0,97	<b>84</b>	±7,3	0,93	<b>85</b>	±3,1	0,99	0,537	0,225	0,843
Cystin	<b>82</b>	±2,5	0,99	<b>86</b>	±4,7	0,97	<b>86</b>	±2,6	0,99	0,403	0,294	0,940
Glutamin	<b>94</b>	±1,5	1,00	<b>96</b>	±1,9	1,00	<b>96</b>	±1,1	1,00	0,552	0,442	0,984
Glycin	<b>81</b>	±3,5	0,98	<b>84</b>	±5,9	0,95	<b>87</b>	±2,6	0,99	0,633	0,193	0,666
Isoleucin	<b>91</b>	±2,8	0,99	<b>94</b>	±4,3	0,98	<b>94</b>	±2,0	0,99	0,591	0,507	0,918
Leucin	<b>90</b>	±2,4	0,99	<b>93</b>	±4,4	0,98	<b>93</b>	±1,8	1,00	0,521	0,314	0,990
Lysin	<b>91</b>	±2,5	0,99	<b>96</b>	±4,7	0,98	<b>94</b>	±2,1	0,99	0,322	0,402	0,625
Methionin	<b>94</b>	±2,0	0,99	<b>96</b>	±4,0	0,98	<b>95</b>	±1,7	1,00	0,592	0,592	0,827
Phenylalanin	<b>90</b>	±2,6	0,99	<b>92</b>	±3,8	0,98	<b>93</b>	±1,8	1,00	0,640	0,359	0,849
Prolin	<b>93</b>	±1,8	1,00	<b>94</b>	±2,3	0,99	<b>95</b>	±1,3	1,00	0,618	0,341	0,807
Serin	<b>87</b>	±3,1	0,99	<b>90</b>	±5,8	0,96	<b>91</b>	±2,3	0,99	0,616	0,361	0,944
Threonin	<b>86</b>	±3,2	0,99	<b>91</b>	±6,9	0,95	<b>89</b>	±2,8	0,99	0,470	0,440	0,777
Tryptophan	<b>82</b>	±2,9	0,99	<b>86</b>	±5,1	0,97	<b>86</b>	±3,0	0,99	0,489	0,368	0,978
Valin	<b>90</b>	±2,6	0,99	<b>94</b>	±4,6	0,98	<b>93</b>	±1,8	1,00	0,520	0,429	0,858

Tabelle 35: P<sub>c</sub> Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , SE, r<sup>2</sup>) des dritten Versuchs mit Enzymzusatz

Weizen	JB Asano + E			Skalmeje + E			Brilliant + E			<i>p</i>				
	1			2			3			1 zu 2		1 zu 3		2 zu 3
Rohprotein	<b>89</b>	±2,0	0,99	<b>89</b>	±1,7	1,00	<b>90</b>	±1,9	0,99	0,969	0,600	0,602		
Alanin	<b>83</b>	±3,5	0,98	<b>84</b>	±2,6	0,99	<b>85</b>	±3,3	0,98	0,734	0,586	0,794		
Arginin	<b>91</b>	±1,6	1,00	<b>92</b>	±1,4	1,00	<b>92</b>	±1,8	1,00	0,522	0,581	0,977		
Asparagin	<b>81</b>	±3,3	0,98	<b>83</b>	±2,8	0,99	<b>83</b>	±3,7	0,98	0,570	0,607	0,987		
Cystin	<b>81</b>	±2,5	0,99	<b>82</b>	±2,4	0,99	<b>84</b>	±2,8	0,99	0,730	0,470	0,687		
Glutamin	<b>95</b>	±0,8	1,00	<b>95</b>	±1,0	1,00	<b>96</b>	±1,0	1,00	1,000	0,539	0,601		
Glycin	<b>82</b>	±2,8	0,99	<b>83</b>	±2,0	0,99	<b>85</b>	±2,5	0,99	0,773	0,505	0,648		
Isoleucin	<b>90</b>	±2,8	0,99	<b>91</b>	±2,1	0,99	<b>92</b>	±2,3	0,99	0,820	0,579	0,714		
Leucin	<b>90</b>	±1,9	0,99	<b>93</b>	±2,2	0,99	<b>93</b>	±1,8	1,00	0,469	0,290	0,799		
Lysin	<b>90</b>	±3,2	0,99	<b>93</b>	±2,4	0,99	<b>94</b>	±2,2	0,99	0,494	0,352	0,803		
Methionin	<b>91</b>	±2,4	0,99	<b>94</b>	±2,1	0,99	<b>95</b>	±1,9	1,00	0,355	0,197	0,750		
Phenylalanin	<b>90</b>	±1,7	1,00	<b>91</b>	±1,6	1,00	<b>92</b>	±2,0	0,99	0,754	0,465	0,653		
Prolin	<b>93</b>	±1,1	1,00	<b>93</b>	±1,1	1,00	<b>94</b>	±1,0	1,00	0,785	0,601	0,445		
Serin	<b>89</b>	±2,3	0,99	<b>89</b>	±2,4	0,99	<b>91</b>	±2,2	0,99	0,901	0,495	0,597		
Threonin	<b>85</b>	±3,9	0,99	<b>87</b>	±3,6	0,98	<b>89</b>	±2,6	0,99	0,628	0,427	0,818		
Tryptophan	<b>83</b>	±2,5	0,99	<b>84</b>	±2,8	0,99	<b>85</b>	±2,5	0,99	0,929	0,638	0,728		
Valin	<b>89</b>	±2,8	0,99	<b>91</b>	±2,3	0,99	<b>92</b>	±2,3	0,99	0,667	0,386	0,645		

Tabelle 36: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , SE, r<sup>2</sup>) des vierten Versuchs

Sorte	Hermann		Hermann + E		Pamier		Pamier + E		Tabasco		Tabasco + E		<i>p</i>		
	1		2		3		4		5		6		1 zu 2	3 zu 4	5 zu 6
Rohprotein	<b>76</b>	$\pm 4,2$ 0,97	<b>85</b>	$\pm 2,9$ 0,99	<b>74</b>	$\pm 6,0$ 0,94	<b>82</b>	$\pm 1,9$ 0,99	<b>82</b>	$\pm 3,0$ 0,99	<b>81</b>	$\pm 4,3$ 0,97	0,101	0,218	0,846
Alanin	<b>76</b>	$\pm 5,1$ 0,96	<b>85</b>	$\pm 2,9$ 0,99	<b>75</b>	$\pm 4,8$ 0,96	<b>81</b>	$\pm 2,3$ 0,99	<b>82</b>	$\pm 2,5$ 0,99	<b>78</b>	$\pm 4,7$ 0,96	0,124	0,260	0,384
Arginin	<b>89</b>	$\pm 2,4$ 0,99	<b>94</b>	$\pm 1,6$ 0,99	<b>89</b>	$\pm 2,4$ 0,99	<b>91</b>	$\pm 0,8$ 1,00	<b>92</b>	$\pm 2,0$ 0,99	<b>92</b>	$\pm 1,4$ 1,00	0,149	0,387	0,750
Asparagin	<b>71</b>	$\pm 6,1$ 0,93	<b>84</b>	$\pm 2,8$ 0,99	<b>73</b>	$\pm 4,8$ 0,96	<b>76</b>	$\pm 2,4$ 0,99	<b>80</b>	$\pm 2,8$ 0,99	<b>74</b>	$\pm 5,1$ 0,95	0,069	0,617	0,360
Cystin	<b>82</b>	$\pm 2,6$ 0,99	<b>86</b>	$\pm 2,9$ 0,99	<b>78</b>	$\pm 4,3$ 0,97	<b>82</b>	$\pm 1,3$ 1,00	<b>84</b>	$\pm 1,3$ 1,00	<b>83</b>	$\pm 2,7$ 0,99	0,338	0,294	0,890
Glutamin	<b>94</b>	$\pm 1,0$ 1,00	<b>96</b>	$\pm 0,7$ 1,00	<b>93</b>	$\pm 1,4$ 1,00	<b>95</b>	$\pm 0,6$ 1,00	<b>95</b>	$\pm 0,7$ 1,00	<b>95</b>	$\pm 1,1$ 1,00	0,228	0,239	0,711
Glycin	<b>77</b>	$\pm 3,7$ 0,98	<b>85</b>	$\pm 2,4$ 0,99	<b>76</b>	$\pm 3,7$ 0,98	<b>82</b>	$\pm 1,6$ 0,99	<b>83</b>	$\pm 2,1$ 0,99	<b>81</b>	$\pm 3,3$ 0,98	0,089	0,156	0,632
Isoleucin	<b>88</b>	$\pm 3,3$ 0,99	<b>93</b>	$\pm 2,0$ 0,99	<b>87</b>	$\pm 3,3$ 0,99	<b>90</b>	$\pm 1,3$ 1,00	<b>91</b>	$\pm 1,6$ 0,99	<b>90</b>	$\pm 2,3$ 0,99	0,215	0,418	0,664
Leucin	<b>87</b>	$\pm 2,9$ 0,99	<b>92</b>	$\pm 1,9$ 0,99	<b>86</b>	$\pm 3,3$ 0,99	<b>90</b>	$\pm 1,3$ 1,00	<b>91</b>	$\pm 1,6$ 0,99	<b>89</b>	$\pm 2,5$ 0,99	0,198	0,321	0,481
Lysin	<b>88</b>	$\pm 4,0$ 0,98	<b>94</b>	$\pm 2,5$ 0,99	<b>88</b>	$\pm 4,7$ 0,97	<b>90</b>	$\pm 1,4$ 1,00	<b>93</b>	$\pm 2,1$ 0,99	<b>89</b>	$\pm 2,7$ 0,99	0,285	0,748	0,293
Methionin	<b>91</b>	$\pm 2,6$ 0,99	<b>94</b>	$\pm 2,1$ 0,99	<b>90</b>	$\pm 2,9$ 0,99	<b>92</b>	$\pm 1,1$ 1,00	<b>94</b>	$\pm 1,6$ 0,99	<b>92</b>	$\pm 2,2$ 0,99	0,475	0,488	0,487
Phenylalanin	<b>89</b>	$\pm 2,7$ 0,99	<b>93</b>	$\pm 1,6$ 0,99	<b>88</b>	$\pm 3,0$ 0,99	<b>91</b>	$\pm 1,3$ 1,00	<b>92</b>	$\pm 1,6$ 0,99	<b>90</b>	$\pm 2,2$ 0,99	0,189	0,456	0,392
Prolin	<b>95</b>	$\pm 1,1$ 1,00	<b>95</b>	$\pm 1,1$ 1,00	<b>93</b>	$\pm 1,5$ 1,00	<b>94</b>	$\pm 1,2$ 1,00	<b>94</b>	$\pm 1,2$ 1,00	<b>95</b>	$\pm 1,0$ 1,00	0,951	0,659	0,356
Serin	<b>86</b>	$\pm 2,8$ 0,99	<b>90</b>	$\pm 1,9$ 0,99	<b>83</b>	$\pm 3,9$ 0,98	<b>87</b>	$\pm 1,9$ 0,99	<b>90</b>	$\pm 1,7$ 1,00	<b>87</b>	$\pm 3,2$ 0,99	0,275	0,296	0,413
Threonin	<b>84</b>	$\pm 4,0$ 0,98	<b>88</b>	$\pm 2,6$ 0,99	<b>81</b>	$\pm 5,4$ 0,96	<b>84</b>	$\pm 2,5$ 0,99	<b>88</b>	$\pm 2,1$ 0,99	<b>82</b>	$\pm 4,1$ 0,98	0,402	0,578	0,243
Tryptophan	<b>82</b>	$\pm 3,3$ 0,98	<b>84</b>	$\pm 2,8$ 0,99	<b>78</b>	$\pm 3,5$ 0,98	<b>80</b>	$\pm 1,7$ 0,99	<b>84</b>	$\pm 2,1$ 0,99	<b>80</b>	$\pm 4,1$ 0,97	0,693	0,769	0,482
Valin	<b>87</b>	$\pm 2,9$ 0,99	<b>92</b>	$\pm 2,1$ 0,99	<b>86</b>	$\pm 3,5$ 0,98	<b>88</b>	$\pm 1,4$ 1,00	<b>90</b>	$\pm 1,6$ 1,00	<b>89</b>	$\pm 2,3$ 0,99	0,241	0,591	0,624

Tabelle 37: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , SE, r<sup>2</sup>) des 4. Versuchs ohne Enzymzusatz

Weizen	Hermann			Pamier			Tabasco			<i>p</i>		
	1	2	3	1 zu 2	1 zu 3	2 zu 3						
Rohprotein	<b>76</b> ±4,2 0,97	<b>74</b> ±6,0 0,94	<b>82</b> ±3,0 0,99	0,838	0,276	0,281						
Alanin	<b>76</b> ±5,1 0,96	<b>75</b> ±4,8 0,96	<b>82</b> ±2,5 0,99	0,927	0,228	0,179						
Arginin	<b>89</b> ±2,4 0,99	<b>89</b> ±2,4 0,99	<b>92</b> ±2,0 0,99	0,977	0,321	0,310						
Asparagin	<b>71</b> ±6,1 0,93	<b>73</b> ±4,8 0,96	<b>80</b> ±2,8 0,99	0,825	0,214	0,264						
Cystin	<b>82</b> ±2,6 0,99	<b>78</b> ±4,3 0,97	<b>84</b> ±1,3 1,00	0,445	0,511	0,181						
Glutamin	<b>94</b> ±1,0 1,00	<b>93</b> ±1,4 1,00	<b>95</b> ±0,7 1,00	0,527	0,359	0,152						
Glycin	<b>77</b> ±3,7 0,98	<b>76</b> ±3,7 0,98	<b>83</b> ±2,1 0,99	0,875	0,193	0,143						
Isoleucin	<b>88</b> ±3,3 0,99	<b>87</b> ±3,3 0,99	<b>91</b> ±1,6 0,99	0,864	0,417	0,312						
Leucin	<b>87</b> ±2,9 0,99	<b>86</b> ±3,3 0,99	<b>91</b> ±1,6 0,99	0,795	0,278	0,195						
Lysin	<b>88</b> ±4,0 0,98	<b>88</b> ±4,7 0,97	<b>93</b> ±2,1 0,99	0,951	0,350	0,368						
Methionin	<b>91</b> ±2,6 0,99	<b>90</b> ±2,9 0,99	<b>94</b> ±1,6 0,99	0,818	0,404	0,288						
Phenylalanin	<b>89</b> ±2,7 0,99	<b>88</b> ±3,0 0,99	<b>92</b> ±1,6 0,99	0,890	0,247	0,223						
Prolin	<b>95</b> ±1,1 1,00	<b>93</b> ±1,5 1,00	<b>94</b> ±1,2 1,00	0,214	0,407	0,597						
Serin	<b>86</b> ±2,8 0,99	<b>83</b> ±3,9 0,98	<b>90</b> ±1,7 1,00	0,523	0,243	0,099						
Threonin	<b>84</b> ±4,0 0,98	<b>81</b> ±5,4 0,96	<b>88</b> ±2,1 0,99	0,627	0,430	0,227						
Tryptophan	<b>82</b> ±3,3 0,98	<b>78</b> ±3,5 0,98	<b>84</b> ±2,1 0,99	0,473	0,694	0,219						
Valin	<b>87</b> ±2,9 0,99	<b>86</b> ±3,5 0,98	<b>90</b> ±1,6 1,00	0,872	0,407	0,365						

Tabelle 38: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , *SE*,  $r^2$ ) des vierten Versuchs mit Enzymzusatz

Weizen	Hermann + E			Pamier + E			Tabasco + E			<i>p</i>					
	1			2			3			1 zu 2		1 zu 3		2 zu 3	
Rohprotein	<b>85</b>	±2,9	0,99	<b>82</b>	±1,9	0,99	<b>81</b>	±4,3	0,97	0,375		0,408		0,816	
Alanin	<b>85</b>	±2,9	0,99	<b>81</b>	±2,3	0,99	<b>78</b>	±4,7	0,96	0,299		0,198		0,535	
Arginin	<b>94</b>	±1,6	0,99	<b>91</b>	±0,8	1,00	<b>92</b>	±1,4	1,00	0,222		0,378		0,833	
Asparagin	<b>84</b>	±2,8	0,99	<b>76</b>	±2,4	0,99	<b>74</b>	±5,1	0,95	0,049		0,100		0,762	
Cystin	<b>86</b>	±2,9	0,99	<b>82</b>	±1,3	1,00	<b>83</b>	±2,7	0,99	0,283		0,535		0,747	
Glutamin	<b>96</b>	±0,7	1,00	<b>95</b>	±0,6	1,00	<b>95</b>	±1,1	1,00	0,339		0,494		0,993	
Glycin	<b>85</b>	±2,4	0,99	<b>82</b>	±1,6	0,99	<b>81</b>	±3,3	0,98	0,308		0,309		0,747	
Isoleucin	<b>93</b>	±2,0	0,99	<b>90</b>	±1,3	1,00	<b>90</b>	±2,3	0,99	0,243		0,320		0,915	
Leucin	<b>92</b>	±1,9	0,99	<b>90</b>	±1,3	1,00	<b>89</b>	±2,5	0,99	0,320		0,327		0,785	
Lysin	<b>94</b>	±2,5	0,99	<b>90</b>	±1,4	1,00	<b>89</b>	±2,7	0,99	0,179		0,225		0,833	
Methionin	<b>94</b>	±2,1	0,99	<b>92</b>	±1,1	1,00	<b>92</b>	±2,2	0,99	0,579		0,565		0,847	
Phenylalanin	<b>93</b>	±1,6	0,99	<b>91</b>	±1,3	1,00	<b>90</b>	±2,2	0,99	0,262		0,291		0,832	
Prolin	<b>95</b>	±1,1	1,00	<b>94</b>	±1,2	1,00	<b>95</b>	±1,0	1,00	0,369		0,995		0,346	
Serin	<b>90</b>	±1,9	0,99	<b>87</b>	±1,9	0,99	<b>87</b>	±3,2	0,99	0,357		0,427		0,913	
Threonin	<b>88</b>	±2,6	0,99	<b>84</b>	±2,5	0,99	<b>82</b>	±4,1	0,98	0,272		0,223		0,703	
Tryptophan	<b>84</b>	±2,8	0,99	<b>80</b>	±1,7	0,99	<b>80</b>	±4,1	0,97	0,226		0,494		0,855	
Valin	<b>92</b>	±2,1	0,99	<b>88</b>	±1,4	1,00	<b>89</b>	±2,3	0,99	0,234		0,354		0,962	

Tabelle 39: Vergleich der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%) zwischen den Sorten der Versuche 1 - 4

	Sorte										<i>p</i>								
	1	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1 zu 4	1 zu 5	1 zu 6	1 zu 7	1 zu 8	1 zu 9	1 zu 10	1 zu 11	1 zu 12
Rohprotein	<b>86</b>	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>84</b>	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>74</b>	<b>82</b>	<b>76</b>	0,523	0,263	0,670	0,376	0,295	0,162	0,135	0,523	0,132
Alanin	<b>79</b>	<b>76</b>	<b>83</b>	<b>76</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>88</b>	<b>75</b>	<b>82</b>	<b>76</b>	0,767	0,463	0,711	0,635	0,415	0,116	0,624	0,535	0,710
Arginin	<b>88</b>	<b>93</b>	<b>91</b>	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>93</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	0,270	0,544	0,970	0,620	0,287	0,166	0,849	0,275	0,835
Asparagin	<b>76</b>	<b>83</b>	<b>83</b>	<b>75</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>73</b>	<b>80</b>	<b>71</b>	0,366	0,208	0,874	0,679	0,357	0,098	0,735	0,550	0,640
Cystin	<b>84</b>	<b>86</b>	<b>88</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	0,798	0,455	0,863	0,637	0,778	0,775	0,355	0,889	0,674
Glutamin	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>93</b>	<b>95</b>	<b>94</b>	0,597	0,235	0,830	0,524	0,263	0,158	0,968	0,303	0,626
Glycin	<b>77</b>	<b>79</b>	<b>84</b>	<b>78</b>	<b>81</b>	<b>84</b>	<b>87</b>	<b>76</b>	<b>83</b>	<b>77</b>	0,761	0,191	0,857	0,513	0,350	0,066	0,877	0,319	0,986
Isoleucin	<b>89</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>85</b>	<b>91</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>87</b>	<b>91</b>	<b>88</b>	0,746	0,704	0,319	0,548	0,323	0,186	0,713	0,597	0,847
Leucin	<b>85</b>	<b>88</b>	<b>88</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>93</b>	<b>93</b>	<b>86</b>	<b>91</b>	<b>87</b>	0,689	0,525	0,932	0,284	0,181	0,056	0,895	0,230	0,727
Lysin	<b>91</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>87</b>	<b>91</b>	<b>96</b>	<b>94</b>	<b>88</b>	<b>93</b>	<b>88</b>	0,900	0,853	0,384	1,000	0,422	0,544	0,671	0,745	0,707
Methionin	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>94</b>	<b>91</b>	<b>94</b>	<b>96</b>	<b>95</b>	<b>90</b>	<b>94</b>	<b>91</b>	0,918	0,565	0,746	0,624	0,435	0,379	0,776	0,620	0,914
Phenylalanin	<b>86</b>	<b>89</b>	<b>89</b>	<b>86</b>	<b>90</b>	<b>92</b>	<b>93</b>	<b>88</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	0,630	0,437	0,971	0,427	0,279	0,088	0,712	0,143	0,620
Prolin	<b>91</b>	<b>93</b>	<b>93</b>	<b>91</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	0,462	0,263	1,000	0,497	0,293	0,120	0,467	0,249	0,099
Serin	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>86</b>	<b>84</b>	<b>87</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>83</b>	<b>90</b>	<b>86</b>	0,975	0,653	0,923	0,615	0,414	0,180	0,811	0,241	0,763
Threonin	<b>85</b>	<b>88</b>	<b>87</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>91</b>	<b>89</b>	<b>81</b>	<b>88</b>	<b>84</b>	0,636	0,703	0,576	0,819	0,443	0,413	0,647	0,618	0,950
Tryptophan	<b>76</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>80</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	0,329	0,097	0,458	0,307	0,188	0,110	0,688	0,208	0,349
Valin	<b>89</b>	<b>92</b>	<b>90</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>94</b>	<b>93</b>	<b>86</b>	<b>90</b>	<b>87</b>	0,542	0,779	0,416	0,739	0,421	0,311	0,684	0,783	0,770

Sorte: 1= KWS Erasmus, 4= Tommi, 5= Frument, 6= Event, 7= JB Asano, 8= Skalmeje, 9= Brilliant, 10= Pamier, 11= Tabasco, 12= Hermann

Tabelle 40: Vergleich der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%) zwischen den Sorten der Versuche 1 - 4

	Sorte										<i>p</i>								
	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	2 zu 4	2 zu 5	2 zu 6	2 zu 7	2 zu 8	2 zu 9	2 zu 10	2 zu 11	2 zu 12
Rohprotein	<b>87</b>	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>84</b>	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>74</b>	<b>82</b>	<b>76</b>	0,721	0,349	0,404	0,733	0,513	0,232	0,039	0,160	0,024
Alanin	<b>79</b>	<b>76</b>	<b>83</b>	<b>76</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>88</b>	<b>75</b>	<b>82</b>	<b>76</b>	0,735	0,449	0,672	0,641	0,414	0,106	0,584	0,519	0,673
Arginin	<b>87</b>	<b>93</b>	<b>91</b>	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>93</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	0,188	0,388	0,736	0,452	0,226	0,105	0,639	0,162	0,628
Asparagin	<b>76</b>	<b>83</b>	<b>83</b>	<b>75</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>73</b>	<b>80</b>	<b>71</b>	0,399	0,222	0,758	0,761	0,402	0,116	0,634	0,593	0,546
Cystin	<b>85</b>	<b>86</b>	<b>88</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	0,805	0,344	0,701	0,463	0,798	0,802	0,195	0,729	0,474
Glutamin	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>93</b>	<b>95</b>	<b>94</b>	0,955	0,333	0,611	0,819	0,376	0,237	0,598	0,424	0,962
Glycin	<b>81</b>	<b>79</b>	<b>84</b>	<b>78</b>	<b>81</b>	<b>84</b>	<b>87</b>	<b>76</b>	<b>83</b>	<b>77</b>	0,812	0,410	0,551	0,948	0,589	0,148	0,392	0,614	0,504
Isoleucin	<b>87</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>85</b>	<b>91</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>87</b>	<b>91</b>	<b>88</b>	0,467	0,395	0,703	0,323	0,210	0,095	0,950	0,323	0,824
Leucin	<b>88</b>	<b>88</b>	<b>88</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>93</b>	<b>93</b>	<b>86</b>	<b>91</b>	<b>87</b>	0,964	0,890	0,499	0,556	0,321	0,142	0,754	0,430	0,934
Lysin	<b>88</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>87</b>	<b>91</b>	<b>96</b>	<b>94</b>	<b>88</b>	<b>93</b>	<b>88</b>	0,529	0,473	0,890	0,569	0,263	0,271	0,955	0,389	0,911
Methionin	<b>88</b>	<b>92</b>	<b>94</b>	<b>91</b>	<b>94</b>	<b>96</b>	<b>95</b>	<b>90</b>	<b>94</b>	<b>91</b>	0,321	0,162	0,483	0,173	0,164	0,081	0,602	0,153	0,462
Phenylalanin	<b>89</b>	<b>89</b>	<b>89</b>	<b>86</b>	<b>90</b>	<b>92</b>	<b>93</b>	<b>88</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	1,000	0,809	0,463	0,764	0,476	0,202	0,924	0,266	0,967
Prolin	<b>92</b>	<b>93</b>	<b>93</b>	<b>91</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	0,932	0,535	0,268	0,962	0,538	0,253	0,877	0,444	0,120
Serin	<b>88</b>	<b>85</b>	<b>86</b>	<b>84</b>	<b>87</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>83</b>	<b>90</b>	<b>86</b>	0,470	0,707	0,288	0,842	0,706	0,457	0,334	0,570	0,683
Threonin	<b>84</b>	<b>88</b>	<b>87</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>91</b>	<b>89</b>	<b>81</b>	<b>88</b>	<b>84</b>	0,583	0,633	0,642	0,756	0,430	0,374	0,687	0,539	0,988
Tryptophan	<b>79</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>80</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	0,565	0,109	0,896	0,578	0,284	0,162	0,882	0,296	0,583
Valin	<b>86</b>	<b>92</b>	<b>90</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>94</b>	<b>93</b>	<b>86</b>	<b>90</b>	<b>87</b>	0,304	0,423	0,840	0,416	0,267	0,141	0,959	0,409	0,845

Sorte: 2= Akteur, 4= Tommi, 5= Frument, 6= Event, 7= JB Asano, 8= Skalmeje, 9= Brilliant, 10= Pamier, 11= Tabasco, 12= Hermann

Tabelle 41: Vergleich der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%) zwischen den Sorten der Versuche 1 - 4

	Sorte										<i>p</i>									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3 zu	3 zu	3 zu	3 zu	3 zu	3 zu	3 zu	3 zu	3 zu	3 zu
											4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Rohprotein	<b>88</b>	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>84</b>	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>74</b>	<b>82</b>	<b>76</b>	0,980	0,578	0,342	0,960	0,692	0,444	<u>0,042</u>	0,162	<u>0,033</u>	
Alanin	<b>80</b>	<b>76</b>	<b>83</b>	<b>76</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>88</b>	<b>75</b>	<b>82</b>	<b>76</b>	0,710	0,623	0,644	0,774	0,517	0,213	0,584	0,692	0,664	
Arginin	<b>91</b>	<b>93</b>	<b>91</b>	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>93</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	0,749	0,847	0,363	0,710	0,733	0,777	0,591	0,830	0,628	
Asparagin	<b>77</b>	<b>83</b>	<b>83</b>	<b>75</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>73</b>	<b>80</b>	<b>71</b>	0,514	0,406	0,784	0,840	0,495	0,241	0,693	0,736	0,629	
Cystin	<b>85</b>	<b>86</b>	<b>88</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	0,900	0,531	0,716	0,504	0,868	0,892	0,280	0,757	0,564	
Glutamin	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>93</b>	<b>95</b>	<b>94</b>	0,938	0,511	0,571	0,936	0,485	0,363	0,582	0,618	0,929	
Glycin	<b>80</b>	<b>79</b>	<b>84</b>	<b>78</b>	<b>81</b>	<b>84</b>	<b>87</b>	<b>76</b>	<b>83</b>	<b>77</b>	0,925	0,480	0,740	0,871	0,582	0,202	0,584	0,647	0,688	
Isoleucin	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>85</b>	<b>91</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>87</b>	<b>91</b>	<b>88</b>	0,949	0,942	0,269	0,769	0,473	0,369	0,603	9,842	0,715	
Leucin	<b>89</b>	<b>88</b>	<b>88</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>93</b>	<b>93</b>	<b>86</b>	<b>91</b>	<b>87</b>	0,781	0,885	0,358	0,775	0,422	0,265	0,608	0,652	0,763	
Lysin	<b>95</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>87</b>	<b>91</b>	<b>96</b>	<b>94</b>	<b>88</b>	<b>93</b>	<b>88</b>	0,633	0,644	0,138	0,493	0,806	0,876	0,377	0,748	0,401	
Methionin	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>94</b>	<b>91</b>	<b>94</b>	<b>96</b>	<b>95</b>	<b>90</b>	<b>94</b>	<b>91</b>	0,915	0,541	0,724	0,595	0,406	0,339	0,769	0,600	0,908	
Phenylalanin	<b>89</b>	<b>89</b>	<b>89</b>	<b>86</b>	<b>90</b>	<b>92</b>	<b>93</b>	<b>88</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	1,000	0,843	0,555	0,793	0,526	0,281	0,939	0,375	0,971	
Prolin	<b>92</b>	<b>93</b>	<b>93</b>	<b>91</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	0,753	0,461	0,541	0,784	0,559	0,202	0,731	0,411	0,156	
Serin	<b>87</b>	<b>85</b>	<b>86</b>	<b>84</b>	<b>87</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>83</b>	<b>90</b>	<b>86</b>	0,601	0,846	0,430	0,945	0,666	0,435	0,452	0,554	0,806	
Threonin	<b>86</b>	<b>88</b>	<b>87</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>91</b>	<b>89</b>	<b>81</b>	<b>88</b>	<b>84</b>	0,812	0,913	0,372	0,949	0,556	0,587	0,489	0,821	0,759	
Tryptophan	<b>78</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>80</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	0,495	0,128	0,717	0,470	0,250	0,145	0,980	0,301	0,510	
Valin	<b>90</b>	<b>92</b>	<b>90</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>94</b>	<b>93</b>	<b>86</b>	<b>90</b>	<b>87</b>	0,714	0,994	0,290	0,955	0,551	0,489	0,544	0,957	0,610	

Sorte: 3= Adler, 4= Tommi, 5= Frument, 6= Event, 7= JB Asano, 8= Skalmeje, 9= Brilliant, 10= Pamier, 11= Tabasco, 12= Hermann  $p < 0,05$

Tabelle 42: Vergleich der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%) zwischen den Sorten der Versuche 1 - 4

	Sorte								<i>p</i>											
	4	5	7	8	9	10	11	12	4 zu	4 zu	4 zu	4 zu	4 zu	4 zu	5 zu	5 zu	5 zu	5 zu	5 zu	5 zu
									7	8	9	10	11	12	7	8	9	10	11	12
Rohprotein	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>74</b>	<b>82</b>	<b>76</b>	0,975	0,678	0,369	<u>0,024</u>	0,067	<u>0,009</u>	0,582	0,955	0,885	<u>0,014</u>	<u>0,033</u>	<u>0,005</u>
Alanin	<b>76</b>	<b>83</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>88</b>	<b>75</b>	<b>82</b>	<b>76</b>	0,463	0,347	0,088	0,866	0,310	0,938	0,801	0,729	0,298	0,161	0,910	0,218
Arginin	<b>93</b>	<b>91</b>	<b>90</b>	<b>93</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	0,444	0,971	0,866	0,341	0,880	0,369	0,860	0,585	0,541	0,669	0,610	0,699
Asparagin	<b>83</b>	<b>83</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>73</b>	<b>80</b>	<b>71</b>	0,556	0,974	0,801	0,253	0,637	0,258	0,431	0,911	0,593	0,077	0,417	0,079
Cystin	<b>86</b>	<b>88</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	0,331	0,953	0,986	0,136	0,485	0,314	0,067	0,682	0,491	<u>0,028</u>	0,067	0,056
Glutamin	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>94</b>	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>93</b>	<b>95</b>	<b>94</b>	0,873	0,433	0,298	0,510	0,368	0,973	0,610	0,822	0,770	0,142	0,822	0,323
Glycin	<b>79</b>	<b>84</b>	<b>81</b>	<b>84</b>	<b>87</b>	<b>76</b>	<b>83</b>	<b>77</b>	0,792	0,554	0,189	0,618	0,500	0,724	0,521	0,945	0,481	0,081	0,726	0,120
Isoleucin	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>87</b>	<b>91</b>	<b>88</b>	0,822	0,515	0,399	0,505	0,874	0,620	0,790	0,460	0,309	0,420	0,832	0,546
Leucin	<b>88</b>	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>93</b>	<b>93</b>	<b>86</b>	<b>91</b>	<b>87</b>	0,533	0,329	0,135	0,776	0,357	0,968	0,604	0,335	0,120	0,601	0,386	0,801
Lysin	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>91</b>	<b>96</b>	<b>94</b>	<b>88</b>	<b>93</b>	<b>88</b>	0,865	0,454	0,594	0,539	0,807	0,559	0,801	0,452	0,608	0,477	0,839	0,490
Methionin	<b>92</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>96</b>	<b>95</b>	<b>90</b>	<b>94</b>	<b>91</b>	0,635	0,431	0,322	0,606	0,548	0,780	0,850	0,725	0,796	0,316	0,873	0,412
Phenylalanin	<b>89</b>	<b>89</b>	<b>90</b>	<b>92</b>	<b>93</b>	<b>88</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	0,802	0,533	0,264	0,918	0,261	0,978	0,925	0,568	0,249	0,375	0,243	0,850
Prolin	<b>93</b>	<b>93</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	1,000	0,622	0,364	0,948	0,503	0,144	0,725	0,812	0,536	0,713	0,808	0,247
Serin	<b>85</b>	<b>86</b>	<b>87</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>83</b>	<b>90</b>	<b>86</b>	0,632	0,440	0,170	0,758	0,147	0,734	0,901	0,551	0,235	0,404	0,209	0,899
Threonin	<b>88</b>	<b>87</b>	<b>86</b>	<b>91</b>	<b>89</b>	<b>81</b>	<b>88</b>	<b>84</b>	0,720	0,700	0,799	0,329	0,555	0,546	0,827	0,585	0,596	0,315	0,859	0,575
Tryptophan	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	0,580	0,487	0,356	0,432	0,556	0,947	0,313	0,996	0,962	0,093	0,485	0,350
Valin	<b>92</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>94</b>	<b>93</b>	<b>86</b>	<b>90</b>	<b>87</b>	0,701	0,796	0,842	0,292	0,611	0,321	0,955	0,521	0,390	0,402	0,986	0,456

Sorte: 4= Tommi, 5= Frument, 7= JB Asano, 8= Skalmje, 9= Brilliant, 10= Pamier, 11= Tabasco, 12= Hermann *p*<0,05

Tabelle 43: Vergleich der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%) zwischen den Sorten der Versuche 1 - 4

	Sorte							<i>p</i>								
	6	7	8	9	10	11	12	6 zu 7	6 zu 8	6 zu 9	6 zu 10	6 zu 11	6 zu 12	7 zu 10	7 zu 11	7 zu 12
Rohprotein	<b>84</b>	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>74</b>	<b>82</b>	<b>76</b>	0,283	0,232	0,059	0,135	0,543	0,113	0,032	0,118	<u>0,020</u>
Alanin	<b>76</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>88</b>	<b>75</b>	<b>82</b>	<b>76</b>	0,345	0,246	<u>0,026</u>	0,845	0,217	0,923	0,330	0,877	0,416
Arginin	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>93</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	0,497	0,203	<u>0,047</u>	0,754	0,080	0,721	0,788	0,487	0,822
Asparagin	<b>75</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>73</b>	<b>80</b>	<b>71</b>	0,529	0,270	<u>0,035</u>	0,795	0,326	0,650	0,480	0,845	0,446
Cystin	<b>84</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	0,605	0,567	0,477	0,200	0,962	0,574	0,420	0,600	0,967
Glutamin	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>93</b>	<b>95</b>	<b>94</b>	0,537	0,202	0,079	0,830	0,084	0,544	0,565	0,720	0,873
Glycin	<b>78</b>	<b>81</b>	<b>84</b>	<b>87</b>	<b>76</b>	<b>83</b>	<b>77</b>	0,457	0,354	<u>0,039</u>	0,690	0,232	0,381	0,421	0,719	0,530
Isoleucin	<b>85</b>	<b>91</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>87</b>	<b>91</b>	<b>88</b>	0,104	0,080	<u>0,010</u>	0,635	0,043	0,487	0,395	0,914	0,499
Leucin	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>93</b>	<b>93</b>	<b>86</b>	<b>91</b>	<b>87</b>	0,136	0,104	<u>0,009</u>	0,781	0,051	0,547	0,372	0,818	0,515
Lysin	<b>87</b>	<b>91</b>	<b>96</b>	<b>94</b>	<b>88</b>	<b>93</b>	<b>88</b>	0,218	0,075	<u>0,026</u>	0,809	0,055	0,717	0,592	0,647	0,626
Methionin	<b>91</b>	<b>94</b>	<b>96</b>	<b>95</b>	<b>90</b>	<b>94</b>	<b>91</b>	0,232	0,200	0,065	0,956	0,149	0,804	0,373	0,965	0,485
Phenylalanin	<b>86</b>	<b>90</b>	<b>92</b>	<b>93</b>	<b>88</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	0,306	0,191	0,023	0,583	<u>0,022</u>	0,449	0,737	0,470	0,831
Prolin	<b>91</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	0,405	0,202	<u>0,048</u>	0,278	0,071	<u>0,010</u>	0,948	0,651	0,334
Serin	<b>84</b>	<b>87</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>83</b>	<b>90</b>	<b>86</b>	0,452	0,308	0,057	0,819	0,051	0,571	0,473	0,485	0,851
Threonin	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>91</b>	<b>89</b>	<b>81</b>	<b>88</b>	<b>84</b>	0,280	0,181	<u>0,049</u>	0,925	0,076	0,554	0,431	0,703	0,746
Tryptophan	<b>80</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	0,633	0,301	0,165	0,714	0,285	0,625	0,491	0,670	0,973
Valin	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>94</b>	<b>93</b>	<b>86</b>	<b>90</b>	<b>87</b>	0,163	0,120	<u>0,014</u>	0,761	0,083	0,575	0,437	0,941	0,499

Sorte: 6= Event, 7= JB Asano, 8= Skalmeje, 9= Brilliant, 10= Pamier, 11= Tabasco, 12= Hermann  $p < 0,05$

Tabelle 44: Vergleich der pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (%)  
zwischen den Sorten der Versuche 1 - 4

	Sorte					<i>p</i>					
	8	9	10	11	12	8 zu 10	8 zu 11	8 zu 12	9 zu 10	9 zu 11	9 zu 12
Rohprotein	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>74</b>	<b>82</b>	<b>76</b>	<u>0,037</u>	0,115	<u>0,027</u>	<u>0,008</u>	<u>0,019</u>	<u>0,003</u>
Alanin	<b>86</b>	<b>88</b>	<b>75</b>	<b>82</b>	<b>76</b>	0,257	0,705	0,324	<u>0,042</u>	0,282	0,072
Arginin	<b>93</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	0,393	0,870	0,433	0,259	1,000	0,296
Asparagin	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>73</b>	<b>80</b>	<b>71</b>	0,289	0,658	0,311	0,061	0,299	0,084
Cystin	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	0,217	0,602	0,444	0,134	0,525	0,344
Glutamin	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>93</b>	<b>95</b>	<b>94</b>	0,272	0,763	0,448	0,163	0,657	0,322
Glycin	<b>84</b>	<b>87</b>	<b>76</b>	<b>83</b>	<b>77</b>	0,314	0,832	0,392	<u>0,050</u>	0,342	0,085
Isoleucin	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>87</b>	<b>91</b>	<b>88</b>	0,271	0,551	0,339	0,136	0,412	0,196
Leucin	<b>93</b>	<b>93</b>	<b>86</b>	<b>91</b>	<b>87</b>	0,255	0,650	0,335	0,081	0,433	0,127
Lysin	<b>96</b>	<b>94</b>	<b>88</b>	<b>93</b>	<b>88</b>	0,270	0,543	0,287	0,265	0,752	0,269
Methionin	<b>96</b>	<b>95</b>	<b>90</b>	<b>94</b>	<b>91</b>	0,300	0,634	0,357	0,180	0,629	0,243
Phenylalanin	<b>92</b>	<b>93</b>	<b>88</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	0,498	0,911	0,562	0,242	0,929	0,291
Prolin	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	0,683	0,931	0,707	0,449	0,699	0,840
Serin	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>83</b>	<b>90</b>	<b>86</b>	0,357	0,962	0,570	0,123	0,835	0,287
Threonin	<b>91</b>	<b>89</b>	<b>81</b>	<b>88</b>	<b>84</b>	0,294	0,646	0,436	0,173	0,683	0,328
Tryptophan	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	0,279	0,699	0,553	0,167	0,618	0,452
Valin	<b>94</b>	<b>93</b>	<b>86</b>	<b>90</b>	<b>87</b>	0,290	0,514	0,318	0,137	0,353	0,148

Sorte: 8= Skalmeje, 9= Brilliant, 10= Pamier, 11= Tabasco, 12= Hermann  $p < 0,05$

Tabelle 45: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (in %, SD) in Abhängigkeit vom Darmabschnitt und Enzymzusatz im Futter bei 20 Tage alten Tieren

Abschnitt	Variante						P								
	ohne Enzym			mit Enzym			Einfluss des Abschnitts			Einfluss des Enzyms					
	proximal	medial	terminal	proximal	medial	terminal	1 zu 2	1 zu 3	2 zu 3	4 zu 5	4 zu 6	5 zu 6	1 zu 4	2 zu 5	3 zu 6
Rohprotein	<b>83<sup>a</sup></b> ±3,9	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,9	<b>89<sup>b</sup></b> ±3,9	<b>84<sup>a</sup></b> ±2,9	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,7	<b>91<sup>b</sup></b> ±1,2	0,019	<0,001	0,709	0,016	<0,001	0,568	0,969	0,957	0,890
Alanin	<b>70<sup>a</sup></b> ±6,5	<b>78<sup>b</sup></b> ±3,4	<b>82<sup>b</sup></b> ±3,4	<b>73<sup>a</sup></b> ±4,7	<b>81<sup>b</sup></b> ±3,3	<b>85<sup>b</sup></b> ±2,7	0,006	<0,001	0,528	0,022	<0,001	0,476	0,664	0,907	0,875
Arginin	<b>84<sup>a</sup></b> ±3,4	<b>89<sup>b</sup></b> ±1,7	<b>91<sup>b</sup></b> ±1,8	<b>86<sup>a</sup></b> ±2,7	<b>90<sup>a</sup></b> ±1,8	<b>93<sup>b</sup></b> ±1,3	0,006	<0,001	0,395	0,013	<0,001	0,235	0,634	0,811	0,623
Asparagin	<b>64<sup>a</sup></b> ±7,9	<b>74<sup>b</sup></b> ±3,9	<b>79<sup>b</sup></b> ±3,4	<b>67<sup>a</sup></b> ±6,0	<b>77<sup>b</sup></b> ±3,4	<b>82<sup>b</sup></b> ±2,3	0,006	<0,001	0,483	0,011	<0,001	0,363	0,853	0,938	0,866
Cystin	<b>77<sup>a</sup></b> ±5,4	<b>83<sup>b</sup></b> ±3,1	<b>85<sup>b</sup></b> ±2,6	<b>80<sup>a</sup></b> ±4,2	<b>85<sup>a</sup></b> ±2,5	<b>87<sup>b</sup></b> ±1,2	0,048	0,002	0,838	0,166	0,004	0,647	0,615	0,912	0,757
Glutamin	<b>90<sup>a</sup></b> ±3,0	<b>94<sup>b</sup></b> ±1,4	<b>95<sup>b</sup></b> ±1,1	<b>91<sup>a</sup></b> ±2,6	<b>94<sup>b</sup></b> ±1,0	<b>96<sup>b</sup></b> ±0,6	0,006	<0,001	0,651	0,022	<0,001	0,659	0,696	0,931	0,934
Glycin	<b>70<sup>a</sup></b> ±6,1	<b>78<sup>b</sup></b> ±3,1	<b>82<sup>b</sup></b> ±2,9	<b>73<sup>a</sup></b> ±4,5	<b>81<sup>b</sup></b> ±2,8	<b>85<sup>b</sup></b> ±2,1	0,002	<0,001	0,502	0,010	<0,001	0,436	0,546	0,862	0,811
Isoleucin	<b>82<sup>a</sup></b> ±4,1	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>90<sup>b</sup></b> ±2,2	<b>84<sup>a</sup></b> ±3,3	<b>89<sup>a</sup></b> ±2,0	<b>92<sup>b</sup></b> ±1,0	0,004	<0,001	0,439	0,011	<0,001	0,265	0,827	0,962	0,857
Leucin	<b>81<sup>a</sup></b> ±4,4	<b>87<sup>b</sup></b> ±2,2	<b>89<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>83<sup>a</sup></b> ±3,6	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>91<sup>b</sup></b> ±1,7	0,008	<0,001	0,533	0,022	<0,001	0,434	0,791	0,941	0,888
Lysin	<b>82<sup>a</sup></b> ±4,6	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>90<sup>b</sup></b> ±2,1	<b>84<sup>a</sup></b> ±3,2	<b>89<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>92<sup>b</sup></b> ±1,8	0,006	<0,001	0,619	0,024	<0,001	0,521	0,691	0,931	0,876
Methionin	<b>86<sup>a</sup></b> ±3,7	<b>91<sup>b</sup></b> ±1,9	<b>92<sup>b</sup></b> ±1,7	<b>87<sup>a</sup></b> ±3,2	<b>92<sup>b</sup></b> ±1,9	<b>94<sup>b</sup></b> ±1,6	0,007	<0,001	0,850	0,022	0,001	0,734	0,830	0,971	0,918
Phenylalanin	<b>81<sup>a</sup></b> ±4,4	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,2	<b>90<sup>b</sup></b> ±2,1	<b>83<sup>a</sup></b> ±4,1	<b>89<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>92<sup>b</sup></b> ±1,2	0,002	<0,001	0,494	0,007	<0,001	0,391	0,766	0,946	0,892
Prolin	<b>88<sup>a</sup></b> ±3,7	<b>92<sup>b</sup></b> ±1,7	<b>94<sup>b</sup></b> ±1,2	<b>89<sup>a</sup></b> ±3,5	<b>93<sup>b</sup></b> ±1,1	<b>95<sup>b</sup></b> ±0,6	0,014	<0,001	0,762	0,037	0,001	0,778	0,778	0,935	0,943
Serin	<b>76<sup>a</sup></b> ±4,9	<b>83<sup>b</sup></b> ±2,6	<b>85<sup>b</sup></b> ±2,5	<b>78<sup>a</sup></b> ±4,1	<b>84<sup>b</sup></b> ±2,6	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,7	0,004	<0,001	0,644	0,019	<0,001	0,408	0,720	0,953	0,811
Threonin	<b>78<sup>a</sup></b> ±4,5	<b>83<sup>b</sup></b> ±2,5	<b>85<sup>b</sup></b> ±2,6	<b>79<sup>a</sup></b> ±3,8	<b>84<sup>a</sup></b> ±2,6	<b>86<sup>b</sup></b> ±2,3	0,039	0,002	0,906	0,080	0,002	0,724	0,917	0,983	0,895
Valin	<b>83<sup>a</sup></b> ±3,8	<b>87<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>90<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>84<sup>a</sup></b> ±3,0	<b>89<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>91<sup>b</sup></b> ±1,3	0,008	<0,001	0,545	0,020	<0,001	0,389	0,799	0,933	0,835

a, b: kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Abschnitten eines Alters bei  $p < 0,05$

Tabelle 46: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (in %, *SD*) in Abhängigkeit vom Darmabschnitt und Enzymzusatz im Futter bei 35 Tage alten Tieren

Abschnitt	Variante						<i>p</i>								
	ohne Enzym			mit Enzym			Einfluss des Abschnitts			Einfluss des Enzyms					
	proximal	medial	terminal	proximal	medial	terminal	1 zu 2	1 zu 3	2 zu 3	4 zu 5	4 zu 6	5 zu 6	1 zu 4	2 zu 5	3 zu 6
Rohprotein	<b>83<sup>a</sup></b> ±2,3	<b>87<sup>b</sup></b> ±1,5	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,2	<b>84<sup>a</sup></b> ±2,2	<b>87<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,0	0,001	<0,001	0,899	0,046	0,002	0,887	0,795	1,000	1,000
Alanin	<b>70<sup>a</sup></b> ±4,0	<b>76<sup>b</sup></b> ±3,4	<b>77<sup>b</sup></b> ±2,6	<b>72</b> ±4,1	<b>75</b> ±4,8	<b>77</b> ±3,8	0,049	0,008	0,982	0,557	0,150	0,962	0,899	0,999	0,999
Arginin	<b>86<sup>a</sup></b> ±1,4	<b>90<sup>b</sup></b> ±1,0	<b>91<sup>b</sup></b> ±0,6	<b>87<sup>a</sup></b> ±1,2	<b>90<sup>b</sup></b> ±1,4	<b>92<sup>b</sup></b> ±1,1	<0,001	<0,001	0,454	<0,001	<0,001	0,107	0,288	0,968	0,602
Asparagin	<b>63<sup>a</sup></b> ±4,8	<b>72<sup>b</sup></b> ±3,3	<b>74<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>66<sup>a</sup></b> ±4,1	<b>72<sup>ab</sup></b> ±4,8	<b>74<sup>b</sup></b> ±3,8	0,001	<0,001	0,849	0,071	0,002	0,747	0,662	1,000	0,999
Cystin	<b>78<sup>a</sup></b> ±3,3	<b>83<sup>b</sup></b> ±1,8	<b>85<sup>b</sup></b> ±1,4	<b>81<sup>a</sup></b> ±3,2	<b>85<sup>b</sup></b> ±2,9	<b>86<sup>b</sup></b> ±3,2	0,012	<0,001	0,697	0,013	0,013	0,816	0,283	0,954	0,987
Glutamin	<b>90<sup>a</sup></b> ±2,0	<b>93<sup>b</sup></b> ±0,8	<b>94<sup>b</sup></b> ±0,6	<b>91<sup>a</sup></b> ±1,5	<b>93<sup>b</sup></b> ±1,3	<b>94<sup>b</sup></b> ±1,2	<0,001	<0,001	0,848	0,016	0,001	0,854	0,237	0,992	0,993
Glycin	<b>71<sup>a</sup></b> ±3,8	<b>79<sup>b</sup></b> ±2,2	<b>81<sup>b</sup></b> ±1,6	<b>74<sup>a</sup></b> ±3,5	<b>80<sup>b</sup></b> ±3,5	<b>82<sup>b</sup></b> ±2,9	<0,001	<0,001	0,763	0,015	<0,001	0,693	0,415	0,997	0,992
Isoleucin	<b>83<sup>a</sup></b> ±2,3	<b>87<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,4	<b>84<sup>a</sup></b> ±2,4	<b>87<sup>ab</sup></b> ±2,5	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,1	0,002	<0,001	0,905	0,094	0,002	0,693	0,904	0,998	1,000
Leucin	<b>81<sup>a</sup></b> ±2,6	<b>85<sup>b</sup></b> ±1,9	<b>87<sup>b</sup></b> ±1,4	<b>82<sup>a</sup></b> ±2,4	<b>86<sup>ab</sup></b> ±2,5	<b>87<sup>b</sup></b> ±2,1	0,001	<0,001	0,904	0,057	0,001	0,758	0,615	0,999	0,996
Lysin	<b>83<sup>a</sup></b> ±2,8	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,9	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,5	<b>85<sup>a</sup></b> ±2,3	<b>88<sup>ab</sup></b> ±2,6	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,8	0,003	0,001	0,995	0,103	0,019	0,980	0,725	1,000	0,999
Methionin	<b>87<sup>a</sup></b> ±1,8	<b>90<sup>b</sup></b> ±1,8	<b>91<sup>b</sup></b> ±1,2	<b>88</b> ±2,1	<b>90</b> ±2,3	<b>91</b> ±1,7	0,013	0,005	0,999	0,380	0,124	0,989	0,837	0,999	1,000
Phenylalanin	<b>79<sup>a</sup></b> ±2,8	<b>84<sup>b</sup></b> ±1,5	<b>86<sup>b</sup></b> ±0,9	<b>81<sup>a</sup></b> ±2,4	<b>85<sup>b</sup></b> ±2,3	<b>87<sup>b</sup></b> ±2,0	<0,001	<0,001	0,738	0,008	<0,001	0,518	0,581	0,999	0,998
Prolin	<b>88<sup>a</sup></b> ±2,6	<b>92<sup>b</sup></b> ±0,8	<b>93<sup>b</sup></b> ±0,6	<b>90<sup>a</sup></b> ±2,6	<b>93<sup>b</sup></b> ±1,5	<b>93<sup>b</sup></b> ±1,6	<0,001	<0,001	0,923	0,019	0,001	0,914	0,168	0,990	0,988
Serin	<b>78<sup>a</sup></b> ±2,9	<b>83<sup>b</sup></b> ±1,9	<b>85<sup>b</sup></b> ±1,2	<b>80<sup>a</sup></b> ±2,7	<b>84<sup>b</sup></b> ±2,7	<b>86<sup>b</sup></b> ±2,4	<0,001	<0,001	0,790	0,021	<0,001	0,579	0,361	0,999	0,984
Threonin	<b>78<sup>a</sup></b> ±2,7	<b>83<sup>b</sup></b> ±2,0	<b>84<sup>b</sup></b> ±1,4	<b>80<sup>a</sup></b> ±2,7	<b>83<sup>ab</sup></b> ±2,8	<b>84<sup>b</sup></b> ±2,3	0,004	<0,001	0,967	0,234	0,023	0,901	0,545	1,000	0,999
Valin	<b>83<sup>a</sup></b> ±2,1	<b>87<sup>b</sup></b> ±1,5	<b>88<sup>b</sup></b> ±1,0	<b>85<sup>a</sup></b> ±2,0	<b>88<sup>b</sup></b> ±2,1	<b>89<sup>b</sup></b> ±1,6	0,001	<0,001	0,845	0,035	0,001	0,666	0,640	0,999	0,996

a, b: kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Abschnitten eines Alters bei  $p < 0,05$

Tabelle 47: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , SD) in Abhängigkeit vom Darmabschnitt und Alter der Tiere

Abschnitt	Variante						p						Einfluss des Alters		
	20 Tage			34 Tage			Einfluss des Abschnitts			Einfluss des Alters					
	proximal	medial	terminal	proximal	medial	terminal	1 zu 2	1 zu 3	2 zu 3	4 zu 5	4 zu 6	5 zu 6	1 zu 4	2 zu 5	3 zu 6
Rohprotein	<b>84<sup>a</sup>±3,4</b>	<b>88<sup>b</sup> ±1,8</b>	<b>90<sup>b</sup> ±1,7</b>	<b>83<sup>a</sup> ±2,3</b>	<b>87<sup>b</sup> ±1,9</b>	<b>88<sup>b</sup> ±1,6</b>	<0,001	<0,001	0,155	<0,001	<0,001	0,749	0,998	0,674	0,097
Alanin	<b>71<sup>a</sup>±5,7</b>	<b>79<sup>b</sup> ±3,4</b>	<b>83<sup>ba</sup> ±3,2</b>	<b>71<sup>a</sup> ±4,1</b>	<b>76<sup>b</sup> ±4,1</b>	<b>77<sup>bb</sup> ±3,1</b>	<0,001	<0,001	0,109	0,025	0,001	0,907	1,000	0,130	0,001
Arginin	<b>85<sup>a</sup>±3,1</b>	<b>89<sup>b</sup> ±1,8</b>	<b>92<sup>c</sup> ±1,8</b>	<b>87<sup>a</sup> ±1,4</b>	<b>90<sup>b</sup> ±1,2</b>	<b>91<sup>b</sup> ±1,0</b>	<0,001	<0,001	0,006	<0,001	<0,001	0,344	0,167	0,920	0,971
Asparagin	<b>66<sup>a</sup>±6,9</b>	<b>75<sup>b</sup> ±3,7</b>	<b>80<sup>ca</sup> ±3,2</b>	<b>65<sup>a</sup> ±4,6</b>	<b>72<sup>b</sup> ±4,0</b>	<b>74<sup>bb</sup> ±3,0</b>	<0,001	<0,001	0,044	<0,001	<0,001	0,595	0,992	0,272	0,007
Cystin	<b>79<sup>a</sup>±4,9</b>	<b>84<sup>b</sup> ±2,9</b>	<b>86<sup>b</sup> ±2,3</b>	<b>80<sup>a</sup> ±3,5</b>	<b>84<sup>b</sup> ±2,4</b>	<b>86<sup>b</sup> ±2,4</b>	0,001	<0,001	0,305	0,008	<0,001	0,576	0,891	1,000	0,999
Glutamin	<b>90<sup>a</sup>±2,8</b>	<b>94<sup>b</sup> ±1,3</b>	<b>95<sup>b</sup> ±1,0</b>	<b>90<sup>a</sup> ±1,9</b>	<b>93<sup>b</sup> ±1,1</b>	<b>94<sup>b</sup> ±0,9</b>	<0,001	<0,001	0,146	<0,001	<0,001	0,765	1,000	0,753	0,115
Glycin	<b>71<sup>a</sup>±5,5</b>	<b>80<sup>b</sup> ±3,1</b>	<b>83<sup>b</sup> ±2,8</b>	<b>73<sup>a</sup> ±3,8</b>	<b>79<sup>b</sup> ±2,8</b>	<b>81<sup>b</sup> ±2,3</b>	<0,001	<0,001	0,066	<0,001	<0,001	0,538	0,908	1,000	0,658
Isoleucin	<b>83<sup>a</sup>±3,7</b>	<b>88<sup>b</sup> ±2,0</b>	<b>91<sup>ca</sup> ±1,8</b>	<b>83<sup>a</sup> ±2,3</b>	<b>87<sup>b</sup> ±2,2</b>	<b>88<sup>bb</sup> ±1,7</b>	<0,001	<0,001	0,024	0,001	<0,001	0,606	0,999	0,667	0,024
Leucin	<b>82<sup>a</sup>±4,0</b>	<b>87<sup>b</sup> ±2,3</b>	<b>90<sup>ba</sup> ±2,1</b>	<b>82<sup>a</sup> ±2,5</b>	<b>85<sup>b</sup> ±2,1</b>	<b>87<sup>bb</sup> ±1,7</b>	<0,001	<0,001	0,053	0,001	<0,001	0,708	0,999	0,354	0,008
Lysin	<b>83<sup>a</sup>±3,9</b>	<b>89<sup>b</sup> ±2,3</b>	<b>91<sup>ba</sup> ±2,0</b>	<b>84<sup>a</sup> ±2,3</b>	<b>87<sup>b</sup> ±2,2</b>	<b>88<sup>bb</sup> ±1,6</b>	<0,001	<0,001	0,087	0,002	<0,001	0,979	0,950	0,811	0,019
Methionin	<b>87<sup>a</sup>±3,4</b>	<b>91<sup>b</sup> ±1,9</b>	<b>93<sup>ba</sup> ±1,7</b>	<b>88<sup>a</sup> ±2,0</b>	<b>90<sup>b</sup> ±2,0</b>	<b>91<sup>bb</sup> ±1,4</b>	<0,001	<0,001	0,310	0,016	0,003	0,992	0,818	0,703	0,043
Phenylalanin	<b>82<sup>a</sup>±4,2</b>	<b>88<sup>b</sup> ±2,3</b>	<b>91<sup>c</sup> ±1,9</b>	<b>82<sup>a</sup> ±2,7</b>	<b>87<sup>b</sup> ±1,9</b>	<b>89<sup>b</sup> ±1,5</b>	<0,001	<0,001	0,034	<0,001	<0,001	0,465	1,000	0,719	0,071
Prolin	<b>88<sup>a</sup>±3,6</b>	<b>92<sup>b</sup> ±1,5</b>	<b>94<sup>b</sup> ±1,1</b>	<b>89<sup>a</sup> ±2,6</b>	<b>92<sup>b</sup> ±1,2</b>	<b>93<sup>b</sup> ±1,2</b>	<0,001	<0,001	0,292	<0,001	<0,001	0,850	1,000	1,000	0,811
Serin	<b>77<sup>a</sup>±4,6</b>	<b>83<sup>b</sup> ±2,6</b>	<b>86<sup>b</sup> ±2,3</b>	<b>79<sup>a</sup> ±3,0</b>	<b>84<sup>b</sup> ±2,3</b>	<b>85<sup>b</sup> ±1,9</b>	<0,001	<0,001	0,070	<0,001	<0,001	0,532	0,656	1,000	0,900
Threonin	<b>78<sup>a</sup>±4,1</b>	<b>83<sup>b</sup> ±2,6</b>	<b>85<sup>b</sup> ±2,5</b>	<b>79<sup>a</sup> ±2,8</b>	<b>83<sup>b</sup> ±2,4</b>	<b>84<sup>b</sup> ±1,9</b>	<0,001	<0,001	0,369	0,004	<0,001	0,872	0,926	1,000	0,814
Valin	<b>83<sup>a</sup>±3,4</b>	<b>88<sup>b</sup> ±2,0</b>	<b>90<sup>c</sup> ±1,8</b>	<b>84<sup>a</sup> ±2,1</b>	<b>87<sup>b</sup> ±1,8</b>	<b>89<sup>b</sup> ±1,3</b>	<0,001	<0,001	0,042	<0,001	<0,001	0,624	0,936	0,981	0,239

a, b: kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Abschnitten eines Alters bei p<0,05

A, B: kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen korrespondierenden Abschnitten zwischen den Altersstufen bei p<0,05

Tabelle 48: P<sub>c</sub> Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , SE, r<sup>2</sup>) im Stall und der Batterie

Aufstallungsart	Stall			Batterie			<i>p</i>
Rohprotein	<b>79</b>	±2,9	0,97	<b>75</b>	±2,6	0,97	0,470
Alanin	<b>74</b>	±4,6	0,92	<b>58</b>	±5,0	0,86	0,032
Arginin	<b>82</b>	±2,8	0,97	<b>83</b>	±2,2	0,98	0,749
Asparagin	<b>64</b>	±5,2	0,87	<b>56</b>	±5,3	0,83	0,333
Cystin	<b>74</b>	±3,8	0,94	<b>76</b>	±2,4	0,98	0,700
Glutamin	<b>91</b>	±1,1	1,00	<b>90</b>	±1,5	0,99	0,485
Glycin	<b>71</b>	±3,6	0,95	<b>67</b>	±3,6	0,94	0,549
Isoleucin	<b>81</b>	±3,6	0,96	<b>76</b>	±3,2	0,96	0,380
Leucin	<b>84</b>	±2,7	0,98	<b>78</b>	±2,8	0,97	0,180
Lysin	<b>82</b>	±6,1	0,89	<b>75</b>	±4,1	0,94	0,436
Methionin	<b>89</b>	±3,8	0,96	<b>79</b>	±3,1	0,97	0,071
Phenylalanin	<b>85</b>	±2,3	0,98	<b>79</b>	±2,6	0,98	0,141
Prolin	<b>88</b>	±1,3	0,99	<b>88</b>	±1,6	0,99	0,804
Serin	<b>82</b>	±3,1	0,97	<b>76</b>	±3,0	0,97	0,208
Threonin	<b>76</b>	±4,9	0,92	<b>72</b>	±3,7	0,94	0,599
Tryptophan	<b>73</b>	±5,3	0,90	<b>68</b>	±4,5	0,91	0,484
Valin	<b>77</b>	±3,8	0,95	<b>77</b>	±3,2	0,96	0,885

Tabelle 49: Pc Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , *SE*,  $r^2$ ) bei Vorfütterung mit und ohne Enzym

	ohne Enzym			ohne / mit Enzym			mit Enzym			<i>p</i>		
	1			2			3			1 zu 2	1 zu 3	2 zu 3
Rohprotein	<b>89</b>	±5,4	0,96	<b>90</b>	± 2,9	0,99	<b>89</b>	±5,0	0,97	0,936	0,967	0,887
Alanin	<b>83</b>	±8,8	0,90	<b>86</b>	±5,3	0,96	<b>85</b>	±8,4	0,91	0,777	0,889	0,906
Arginin	<b>92</b>	±5,1	0,97	<b>94</b>	±3,0	0,99	<b>94</b>	±5,9	0,96	0,730	0,811	0,982
Asparagin	<b>81</b>	±11,9	0,82	<b>84</b>	± 7,1	0,93	<b>78</b>	±9,6	0,87	0,791	0,859	0,593
Cystin	<b>85</b>	±10,2	0,87	<b>82</b>	±6,0	0,95	<b>75</b>	±9,3	0,86	0,816	0,503	0,515
Glutamin	<b>93</b>	±3,7	0,98	<b>95</b>	±1,9	0,99	<b>91</b>	±2,5	0,99	0,708	0,607	0,218
Glycin	<b>79</b>	±9,6	0,87	<b>81</b>	±5,6	0,95	<b>74</b>	±7,6	0,90	0,874	0,684	0,466
Isoleucin	<b>94</b>	±5,7	0,96	<b>94</b>	±3,8	0,98	<b>92</b>	±7,2	0,94	0,965	0,804	0,739
Leucin	<b>93</b>	±5,6	0,96	<b>94</b>	±3,3	0,99	<b>93</b>	±5,7	0,96	0,821	0,987	0,835
Lysin	<b>96</b>	±7,1	0,95	<b>99</b>	±5,7	0,97	n.b.			0,774		
Methionin	<b>95</b>	±4,3	0,98	<b>96</b>	±3,6	0,99	<b>98</b>	±7,0	0,95	0,814	0,686	0,788
Phenylalanin	<b>90</b>	±6,2	0,95	<b>92</b>	±3,2	0,99	<b>87</b>	±5,1	0,97	0,877	0,680	0,455
Prolin	<b>89</b>	±5,3	0,96	<b>90</b>	±3,1	0,99	<b>81</b>	±3,7	0,98	0,892	0,283	0,102
Serin	<b>88</b>	±6,8	0,94	<b>89</b>	±3,6	0,98	<b>85</b>	±5,9	0,95	0,828	0,812	0,569
Threonin	<b>89</b>	±7,9	0,93	<b>90</b>	±5,3	0,97	<b>88</b>	±10,0	0,89	0,959	0,948	0,901
Tryptophan	<b>85</b>	±6,6	0,94	<b>87</b>	±3,8	0,98	<b>82</b>	±6,6	0,94	0,811	0,754	0,522
Valin	<b>93</b>	±5,6	0,96	<b>94</b>	±4,4	0,98	<b>94</b>	±8,3	0,93	0,886	0,916	1,000

n.b. = nicht berechnet

Tabelle 50: Partikelgrößenverteilung (%) der Versuchsmischungen des achten Versuchs

Variante		< 0,2 mm	0,2 mm	0,4 mm	0,56 mm	0,8 mm	1 mm	1,4 mm	2 mm	3,15 mm
30 %	geschrotet	60,12	8,36	4,95	6,40	3,68	6,86	6,40	3,09	0,14
	ganzes Korn	53,70	7,29	4,99	6,77	4,64	7,38	6,16	7,51	1,56
50 %	geschrotet	46,77	9,18	6,02	8,78	6,12	10,89	8,63	3,51	0,10
	ganzes Korn	45,46	7,83	4,66	6,39	3,96	11,75	6,02	12,2	1,73
70 %	geschrotet	33,14	7,34	5,27	8,97	7,58	14,72	16,49	6,33	0,14
	ganzes Korn	34,10	5,33	4,04	6,57	5,28	11,52	12,51	14,8	5,85

Tabelle 51: P<sub>c</sub> Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren (% , SE, r<sup>2</sup>) bei Fütterung mit geschrotetem und ganzem Weizen

Futterstruktur	geschroteter Weizen			ganzer Weizen			<i>p</i>
Rohprotein	<b>92</b>	±1,1	1,00	<b>87</b>	±2,4	0,98	0,064
Alanin	<b>87</b>	±1,8	0,99	<b>80</b>	±3,2	0,97	0,053
Arginin	<b>93</b>	±0,9	1,00	<b>91</b>	±2,9	0,98	0,626
Asparagin	<b>82</b>	±1,9	0,99	<b>75</b>	±3,4	0,95	0,063
Cystin	<b>90<sup>a</sup></b>	±1,8	0,99	<b>83<sup>b</sup></b>	±2,5	0,98	0,019
Glutamin	<b>95</b>	±0,5	1,00	<b>94</b>	±0,8	1,00	0,145
Glycin	<b>86<sup>a</sup></b>	±1,6	0,99	<b>77<sup>b</sup></b>	±2,7	0,97	0,009
Isoleucin	<b>93</b>	±1,0	1,00	<b>90</b>	±2,3	0,98	0,226
Leucin	<b>93</b>	±1,0	1,00	<b>90</b>	±2,0	0,99	0,093
Lysin	<b>93</b>	±1,2	1,00	<b>93</b>	±3,2	0,97	0,922
Methionin	<b>95</b>	±1,0	1,00	<b>93</b>	±1,8	0,99	0,403
Phenylalanin	<b>91</b>	±1,3	1,00	<b>87</b>	±2,1	0,99	0,121
Prolin	<b>95</b>	±0,6	1,00	<b>93</b>	±0,7	1,00	0,056
Serin	<b>91</b>	±1,2	0,99	<b>87</b>	±2,1	0,99	0,099
Threonin	<b>90</b>	±1,6	0,99	<b>86</b>	±3,3	0,97	0,289
Tryptophan	<b>87</b>	±1,6	0,99	<b>82</b>	±2,5	0,98	0,122
Valin	<b>93</b>	±1,0	1,00	<b>90</b>	±2,6	0,98	0,195

a, b kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten bei  $p < 0,05$

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die Arbeit **„Untersuchungen zur praecaecalen Aminosäurenverdaulichkeit von Weizen beim Broiler unter Berücksichtigung methodischer Aspekte“** selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Großpösna, 13.01.2019

## Lebenslauf

### Lebenslauf

Name: Gisela Theresa Bormann  
Geboren: 30.09.1981 in Leipzig  
Staatsangehörigkeit: deutsch

#### Schulische Ausbildung:

08/1988 – 07/1992 Grundschule Georgi-Dimitroff, Leipzig  
08/1992 – 07/2001 Gymnasium des Evangelischen Schulzentrums, Leipzig  
Abschluss: Abitur

#### Universitäre Ausbildung:

10/2002 – 09/2005 Studium der Biologie, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
10/2006 – 09/2009 Bachelor-Studium der Agrarwissenschaften  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Abschluss: Bachelor of Science  
Thema der Bachelorarbeit: ``Untersuchungen zur Aufnahme an Futterkalk von Legehennen bei Calcium-reduzierten Rationen``  
10/2009 – 06/2011 Master-Studium der Agrarwissenschaften  
Schwerpunkt Nutztierwissenschaften  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Abschluss: Master of Science  
Thema der Masterarbeit: ``Zur Wirkung einer Hitzebehandlung auf die praecaecale Verdaulichkeit von Aminosäuren aus Sonnenblumenextraktionsschrot beim Broiler``

#### Beruflicher Werdegang:

07/2011 – 10/2014 wissenschaftliche Mitarbeiterin / Promotionsstudium  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Professur für Tierernährung  
01/2015 – 05/2015 wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Firma "feedtest"  
Seit 07/2016 Eskildsen GmbH, Gänsezucht Wermsdorf